

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikka

OPINNÄYTETYÖ

Mikko Vuorinen

**PÄTSIGRAVIMETRIN SUUNNITTELU**

Työn ohjaaja  
Työn teettäjä  
Valvojana  
Tampere 2006

Lehtori Kaarlo Koivisto  
Extron Engineering Oy  
Tekninen johtaja Rauno Smått

Mikko Vuorinen

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikka

Mikko Vuorinen, Pätsigravimetrin suunnittelu

Insinööri

Työnvalvoja

Työnteettävä

Valvojana

Marraskuu 2006

**34 sivua, 7 liitettä**

Lehtori Kaarlo Koivisto

Extron Engineering Oy

Tekninen johtaja Rauno Smått

Hakusanat: pätsigravimetri, gravimetri, puhalluskalvo, extruuderit, granulaatti, muovi

## TIIVISTELMÄ

Puhalluskalvolinjaan kuuluu yhtenä osana raaka-aineen määrää säätelevä gravimetri. Työn tarkoituksena on suunnitella pätsigravimetri eli laite joka sekoittaa ja punnitsee tarvittavan raaka-aineen. Kaikki kuvat on suunniteltu käyttämällä suomalaista VERTEX G4 - ohjelmistoa.

Mikko Vuorinen

## ABSTRACT

One part of blow film line is gravimeter, which controls raw material flow. Main reason of this thesis is design a batch blender which weights and mix raw material that line needs. All drawings are made with finnish VERTEX G4 program.

Mikko Vuorinen

## ALKUSANAT

Extron Engineeringin ydinosamisena on muovilinjan toiminnan kokonaisvaltainen hallitseminen. Asiakkaiden kiinnostus pätsigravimetrejä kohtaan on kasvanut raaka-aineiden lukumäärän lisääntyessä kalvotuotteissa. Asiakkaiden kiinnostus ja Extronin halu pysyä muovialan kehityksen kärjessä loivat tarpeen pätsigravimetrimin suunnittelulle.

Työssä auttoi se, että olen saanut mahdollisuuden tutustua kyseisen alan laitteisiin käytännön sovelluksissa.

Kiitos Extron Engineering Oy:n antamasta mahdollisuudesta saattaa opiskeluni päätökseen mielenkiintoisen aiheen parissa, sekä kiitos siitä luottamuksesta, että sain toteuttaa työni osana olemassa olevaa projektia.

Kiitos myös kaikille henkilöille, jotka ovat auttaneet työni loppuun saattamisessa.

2.11.2006 Tampereella

Mikko Vuorinen

Mikko Vuorinen

TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT  
ALKUSANAT  
SISÄLLYS  
LYHENTEET JA NIIDEN MERKITYKSET

Sisällys

<u>1.0 JOHDANTO</u>	7
<u>1.1 Lähtötilanne</u>	7
<u>1.2 Työn tavoitteet</u>	7
<u>1.3 Työn raja</u> us	7
<u>2. EXTRON ENGINEERING OY</u>	8
<u>3.0 PUHALLUSKALVOLINJA</u>	9
<u>3.1 Yleistä</u>	9
<u>3.2 Puhalluskalvon valmistus</u>	10
<u>3.3 Raaka-aineet</u>	11
<u>3.4 Puhalluskalvolinjan koneet ja laitteet</u>	13
<u>3.4.1 Raaka-aineen siirto</u>	13
<u>3.4.2 Gravimetri</u>	14
<u>3.4.3 Ekstruuder</u> i	16
<u>3.4.4 Suutin</u>	17
<u>3.4.5 Kalibrointihäkki</u>	18
<u>3.4.6 Verhot ja vetolaite</u>	19
<u>3.4.7 Kelauslaite</u>	20
<u>4. PÄTSIGRAVIMETRI</u>	21
<u>5. SUUNNITTELU</u>	23
<u>5.1 Suunnittelun tavoitteet</u>	23
<u>5.2 Suunnittelun lähtökohdat</u>	24
<u>5.3 Kokoonpano</u>	25
<u>5.3.1 Runko</u>	26
<u>5.3.2 Raaka-aineventtiili</u>	27
<u>5.3.3 Punnitusyksikkö</u>	28
<u>5.3.4 Sekoitusyksikkö</u>	29
<u>5.3.5 Pyöritys</u> yksikkö	30
<u>5.3.6 Avaus</u> yksikkö	31
<u>5.3.7 Lisäaineannostelija</u>	32
<u>6. YHTEENVETO</u>	33
<u>LÄHTEET</u>	33
<u>LIITELUETTELO</u>	34

Mikko Vuorinen

## TERMIT, LYHENTEET JA NIIDEN MERKITYKSET

LDPE	Matalatiheyksinen polyeteeni
HDPE	Korkeatiheyksinen polyeteeni
LLDPE	Lineaarinen matalatiheyksinen polyeteeni
PP	Polypropeeni
PA	Polyamidi (nylon)
PS	Polystyreeni

Mikko Vuorinen

## 1.0 JOHDANTO

### 1.1 Lähtötilanne

Extron Engineering Oy on toimittanut linjojensa mukana muiden valmistajien pätsigravimetrejä jo useiden vuosien ajan. Asiakkaiden mielenkiinto kyseistä laitetta kohtaan loi tarpeen suunnitella sellainen myös Extron Engineering Oy:n tuotevalikoimaan.

Pätsigravimetriin tutustuminen alkoi muiden valmistajien laitteita tutkimalla. Extron Engineering Oy:n ja RT-Systems Oy:n henkilökunnan kanssa käytyjen useiden keskustelujen jälkeen päätettiin, millaisesta konstruktiosta tuotetta lähdetään rakentamaan. Laitteen suunnittelu toteutettiin osana projektia, joten asiakkaalla oli peruslähtökohdat ja vaatimukset sekoittajalle olemassa.

### 1.2 Työn tavoitteet

Suunnittelun ensisijaisena tavoitteena on saada aikaan toimiva ja asiakasta tyydyttävä laite. Asiakkaan vaatimat granulaatin läpimenomäärät, raaka-aineiden hyvä sekoituvuus ja annosmäärien tarkuus ovat perusvaatimuksia, jotka on täyttyttävä.

Extron Engineering Oy:llä on tuotevalikoimassaan normaali gravimetri, joka hoitaa raaka-aineen annostelun tarkasti. Yksi suunnittelun päätavoitteista on saada normaalille gravimetrille aikaan halvempi vaihtoehto raaka-aineen annosteluun.

Pätsigravimetrin on toimittava häiriöttä ja tarkasti pitkiä aikoja, koska häiriö raaka-aineen syötössä aiheuttaa koko linja pysähtymisen. Tämän vuoksi yksinkertainen ja varmatoiminen mekaniikka oli yksi suunnittelun lähtökohtia. Helppo puhdistettavuus otettiin suunnittelussa erityisesti huomioon, koska se oli käyttäjäkokemusten mukaan erittäin tärkeää.

Tavoitteena on tulevaisuudessa valmistaa Extron Engineering Oy:n tuotevalikoimaan pätsigravimetreistä tuoteperhe, joka kattaisi mahdollisimman hyvin asiakkaiden vaatimukset eri suuruisten raaka-ainemäärien annostelussa ja sekoittamisessa.

### 1.3 Työn rajaus

Extron Engineering Oy:n antama tehtävä oli suunnitella pätsigravimetri mekaanisesti. Työnkuvaani kuului pääkokoonpanon, alikokoonpanojen ja työkuvienviirtäminen alusta loppuun omieni sekä muiden ideoiden pohjalta. Toimilaitteiden, kuten sähkömoottorin ja paineilmasylinterien, valinta kuului osana työhön.

Mikko Vuorinen

## 2. EXTRON ENGINEERING OY

Extron Engineering Oy on muoviteollisuuden koneita ja laitteita suunnitteleva ja valmistava yritys.

Yritys on perustettu vuonna 1991, ja tuolloin siinä toimi kolme henkilöä; kaksi suunnittelussa ja myynnissä sekä yksi kokoonpanossa. Perustajilla oli 20 vuoden kokemus alasta. Toimitilat olivat aluksi Pirkanmaalla Viialassa, josta ne vaihtuivat uusiin tiloihin naapurikuntaan Toijalaan Lentilän teollisuusalueelle vuonna 1995.

Yrityksen henkilöstö määrä kasvoi muutamalla henkilöllä aina vuoteen 2001, jolloin Vaasalaisen KWH-konsernin KWH Pipe Technology osti osake-enemmistön. Tämän jälkeen kasvu oli nopeampaa ja tällä hetkellä henkilöstön määrä on 25, joista myynnissä ja markkinoinnissa toimii 10, suunnittelussa 10 ja kokoonpanossa 5. Lisäksi Extron työllistää alihankkijoita päivittäin noin 50 henkilöä.

Extron Engineering Oy suunnittelee ja kokoonpanee mekaanisen osan tuotteistansa kokonaisuudessaan alihankinnasta tulevista osista. Automaatiosuunnittelun ja sähköistyksen tekee RT-system Oy. Vuonna 2005 KWH Pipe Technology osti myös RT-systems Oy:n, ja nyt yrityksiä ollaan yhdistämässä samoihin toimitiloihin.

Yritys on kasvanut perustamisestaan asti tasaisesti ja kahtena viime vuotena lähes kaksinkertaistanut liikevaihtonsa, joka oli vuonna 2005 noin 10 milj. euroa. Uusia tuotanto- ja toimitiloja valmistui vuonna 2002 600 m<sup>2</sup> ja keväällä 2005 valmistui uusi varasto-/kokoonpanohalli. RT-systems Oy:n samoihin toimitiloihin siirtymisen vuoksi aloitettu toimistotilan laajennus valmistuu vuoden 2006 loppuun mennessä.

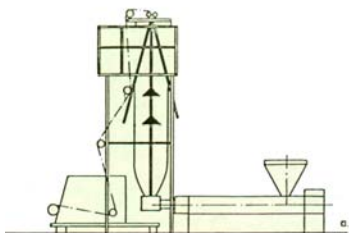


## 3.0 PUHALLUSKALVOLINJA

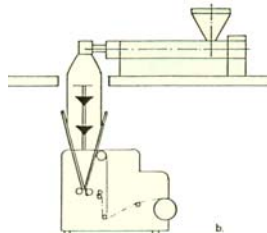
### 3.1 Yleistä

Puhalluskalvolinjalla tehtyjen muovikalvojen käyttö pakkauksissa on hyvin yleistä. Kehittyneemmät ekstruusiotekniikat ovat mahdollistaneet useiden ominaisuuksien yhdistämisen samaan tuotteeseen, ja tämä on lisännyt puhalluskalvojen käyttöä erilaisissa sovelluksissa. Linjojen tuotot ovat nousseet viime vuosina erittäin nopeasti kehittyneemmän logistiikan, parantuneiden suutinmateriaalien, uusien raaka-aineiden ja lisääntyneen automaation vuoksi. Ylivoimaisesti käytetyin raaka-aine on polyeteeni, PE.

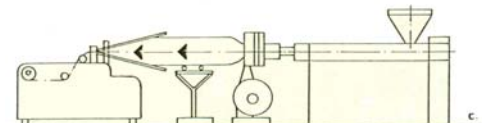
Kalvon valmistus puhalluskalvotekniikalla siirtämällä kalvo alhaalta ylöspäin on tällä hetkellä ehdottomasti yleisin muovikalvon valmistustapa. Kalvoa voidaan valmistaa myös siirtämällä sitä vaakatasossa tai ylhäältä alaspäin. Perinteisesti kalvo jäähdytetään ilmalla, mutta erikoisemmissa sovelluksissa jäähdytys tapahtuu ajamalla kuuma kalvo vesirenkaan läpi. Kalvoa valmistetaan myös tasokalvotekniikalla, mikä on useimmiten käytössä laminoitaessa jotain tuotetta muovikalvolla.



Kuva 1. Alhaalta ylöspäin – rakenteinen  
(Extron Engineering Oy)



Kuva 2. Ylhäältä alas - rakenteinen  
(Extron Engineering Oy)

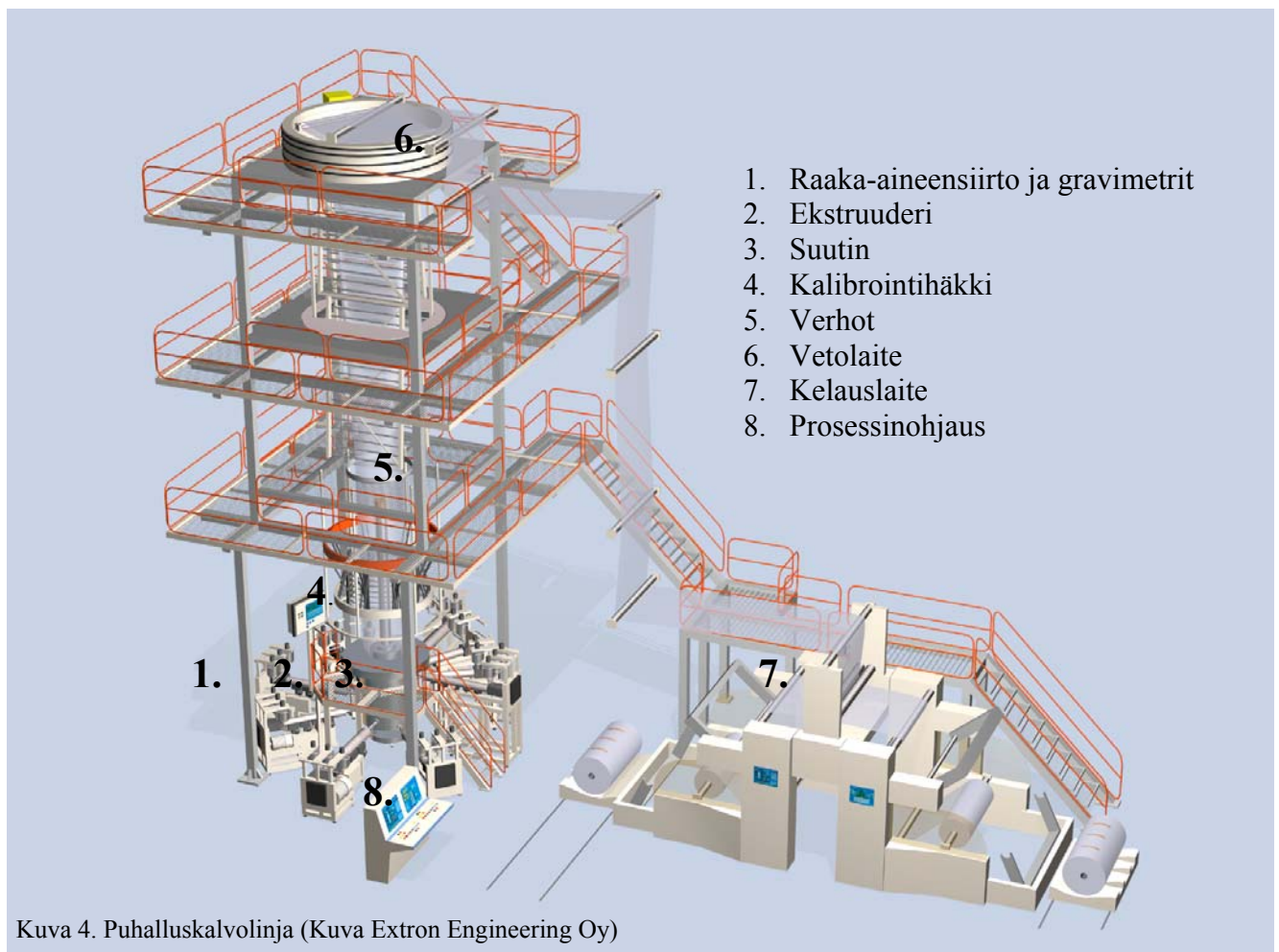


Kuva 3. Vaakasuoraan toimiva  
(Extron Engineering Oy)

Mikko Vuorinen

### 3.2 Puhalluskalvon valmistus

Seuraavassa keskitytään perinteiseen alhaalta ylöspäin toimivaan, ilmajäähdytteiseen puhalluskalvolinjaan. Puhalluskalvolinjan toiminta on seuraavanlainen. Raaka-aineet siirretään alipaineputkistojen avulla gravimetrille (1.), jossa ne annostellaan ekstruuderiin (2.). Ekstruuderissa raaka-aine sulatetaan, kuljetetaan ja homogenoidaan ruuvin avulla. Tämän jälkeen sula massa kulkee sihdin läpi suuttimelle (3.). Suuttimen tehtävä on sulan massan muotoilu halutun profiilin mukaiseksi, joka yleensä on pyöreä putki. Muodostunutta kalvokuplaa jäähdytetään puhaltamalla kylmää ilmaa sen sisä- ja ulkopinnoille. Ylöspäin nousevaa, alaosaan sulaa kuplaa tuetaan kalibrointihäkillä (4.). Ylöspäin noustessa verhot (5.) alkavat litistää kalvoa kaksinkerroin. Kalvokuplaa ylöspäin vetää vetolaite (6.), joka on yleensä oskilloiva. Vetolaite painaa kalvon lopullisesti putkesta kaksikerroksiseksi levyksi. Vetolaitteelta kalvo laskeutuu ratateloja pitkin alas. Joissain tapauksissa tasomaiselle kalvoradalle suoritetaan erikoiskäsittelyjä, kuten koronointi. Radan loppuvaiheessa reunat leikataan pois ja kalvo kiinnirullataan kelaajalla (7.). Tämän jälkeen kalvorullat varastoidaan odottamaan jatkokäsittelyä. Koko linjaa ohjaa prosessinohjauksen logiikka (8.).



### 3.3 Raaka-aineet /1, s.5-19/

Kalvoon käytettävillä raaka-aineilla on suurin vaikutus lopputuotteen laatuun ja ominaisuuksiin. Tämänpäiväiset käyttökohteet ovat mitä moninaisimpia ja vaativat muoveilta yhä enemmän. Nykyaikaisessa puhalluskalvolinjassa onkin normaalia, että kalvoon sekoitetaan 20–30 erilaista raaka-ainetta.

Raaka-aineet jaotellaan kahteen pääryhmään; perusaineet ja lisäaineet. Perusaineisiin kuuluvat polyeteeni, polypropeeni, polyesteri, etyylivinyylisetaatti, etyylivinyylialkoholi, polyvinyylidikloridi, polyamidi ja polyuretaani. Lisäaineisiin lasketaan tartunnanestoaineet, vahvikeaineet, UV-suojat, tartunta-aineet, antioksidantit, antistaattiset aineet, väriaineet ja liukuaineet. Perusaineet muodostavat suurimman osan lopputuotteesta. Lisäaineet luovat lopputuotteelle erilaisia ominaisuuksia käyttötarkoituksen mukaan. Perusainetta kokonaistuotosta on yleensä 100 % - 20 % välillä ja lisäainetta 0 % - 20 %.

Muovin raaka-aine eli granulaatti on muodoltaan linssimäistä tai tynnyrimäistä ja halkaisijaltaan noin kaksi millimetriä. Granulaatin tilavuuspaino on noin 0,5 g/cm<sup>3</sup>, yleisimpien muovien ollessa noin 0,9 g/cm<sup>3</sup>.

Granulaattia käytetään maailmassa vuosittain miljardeja kiloja ja käyttökohteita on lukemattomia. Suurin osa valmistetusta muovista käytetään erilaisiin pakkauksiin ja pusseihin. Näiden tuotteiden vaatimuksena on helppo valmistus, kestävyys tiettyyn pisteeseen asti ja mikä tärkeintä, halpa hinta. Polyeteeni on materiaali, joka vastaa kaikkiin edellä mainittuihin vaatimuksiin. Tämän vuoksi suurin osa käytetystä granulaatista onkin polyeteeniä.

Polyeteeniä jaetaan kolmeen luokkaan; matalatiheysinen polyeteeni LDPE, korkeatiheysinen polyeteeni HDPE ja lineaarinen matalatiheysinen polyeteeni LLDPE. Edellä mainituista LDPE on muoviteollisuudessa kaikkein yleisimmin käytetty polyeteenilaji. LDPE:n sulamispiste on suhteellisen matala, noin 105 -115 °C. Tämän vuoksi sulattamiseen ja homogenointiin tarvittava energiamäärä on suhteellisen pieni. LDPE on ominaisuuksiltaan melko pehmeä, sitkeä, kirkas ja helposti saumattavissa. Se on helposti liitettävissä muihin kalvoihin liimalaminoinnilla. Tärkeimmät LDPE:n käyttökohteet ovat erilaiset säkit ja kantokassit. LD-polyeteeniä käytetään myös erilaisten pahvi-, kartonki- ja alumiinipakkausten vahvistamiseen. Pakkausten lisäksi muita käyttökohteita ovat erilaiset kappaletuotteet sekä putkien ja kaapelien eristeet.

Korkeatiheysinen polyeteeni, HDPE, vaatii matalatiheyksistä suuremman sulamislämmön, noin 130–135 °C. HDPE:n tiheys vaihtelee 0,93–0,96 g/cm<sup>3</sup> välillä, kun se LDPE:ssä on noin 0,91–0,93 g/cm<sup>3</sup>. HDPE kalvo on ominaisuuksiltaan jäykempää, pinnaltaan kovempaa, sameampaa, liukkaampaa ja sen saumauslämpötila on matalatiheyksistä korkeampi. HDPE-kalvosta valmistetut muovipussit ovatkin kovan tuntuista verrattuna pehmeään LDPE-pussiin.

Mikko Vuorinen

LLDPE on muunnos HDPE:stä. Sen tiheys vaihtelee  $0,88\text{--}0,93\text{ g/cm}^3$ , ja sulamislämpö on noin  $115\text{--}125\text{ }^\circ\text{C}$ . LLDPE on sulaominaisuuksiltaan LDPE:n ja HDPE:n väliltä; ekstruuderin ja suuttimen sisällä se käyttäytyy kuten HDPE, mutta se muodostaa samanlaisen kuplan kuin LDPE. Kiinteän muodon ominaisuudet ovat myös LDPE:n ja HDPE:n väliltä. LLDPE on kestävämpää kuin LDPE, melkein kuin HDPE, mutta samalla pehmeämpää kuin HDPE.

Polypropeeni, PP, on helppo materiaali puhalluskalvoprosessissa, kuten polyeteenikin, lukuun ottamatta sen korkeampaa sulamispistettä,  $165\text{ }^\circ\text{C}$ . PP:lla on hyvä lämmönkesto ja mekaaninen lujuus. Polypropeeni on väritön materiaali, joka on kovempaa, jäykempää sekä pinnaltaan kestävämpää kuin polyeteeni. Sen rasvankesto ja kaasuntiiveys ovat HDPE:n tasolla, kylmänkeston ollessa heikompi. PP:tä käytetään monissa pakkausmateriaaleissa, kuten savukkeiden, leipomotuotteiden, vaatteiden, vihannesten ja makeisten pakkauksissa.

Polyamidilla eli nailonilla on huomattavasti korkeampi sulamispiste kuin esimerkiksi polyeteeneillä, noin  $180\text{--}250\text{ }^\circ\text{C}$ . Lisäksi se kerää ilmasta kosteutta, joten raaka-aine on aina kuivattava ennen käyttöä. PA:lla on hyvä happitiiveys, aromitiiveys, kulutuksenkesto sekä sitkeys matalissa lämpötiloissa. PA:ta käytetään usein monikerroskalvoissa polyeteenin kanssa. PA-yhdistelmäkalvoja käytetään vaativissa elintarvikepakkauksissa, kuten lihan ja juuston pakkauksissa. Muita sovelluksia ovat muun muassa keinotekoiset makkarakuoret ja sterilointipakkaukset.

Polystyreenillä on useita hyviä ominaisuuksia kaupalliseen käyttöön: se on kirkas, halpa, vahva, sekä sillä on matala sulamislämpötila. Edellä mainituista ominaisuuksista huolimatta se on vaativaa valmistaa, ja yleensä polystyreeniä käytetäänkin nailonin tapaan muiden materiaalien kanssa monikerroskalvoissa. PS:ä käytetään pakkausmateriaalina ruoka- ja karamellipakkauksissa sekä kirkkaassa lahjakääreessä.

Tänä päivänä lähes kaikkien perusaineiden kanssa käytetään useita lisäaineita parantamassa kalvon ominaisuuksia sekä helpottamassa tuotantoa. Tartunnanestoaineet eli antiblokkit ovat yksi yleisesti käytetyistä lisäaineista. Antiblokkit ovat tavallisesti eloperäistä piimaata. Ne ovat käytössä monen perusaineen kanssa kalvokerrosten toisiinsa takertumisen estämiseksi.

Antioksidanttien tarkoituksena on pitää polymeerit vakaina prosessin aikana. Yleisimpiä antioksidantteja ovat phenolics ja amines. UV-suojaa-aineiden, jotka yleensä ovat bentsofaaneja, tarkoituksena on estää polyeteenin hajoaminen UV-säteilyn vaikutuksesta.

Liukuaineita eli slippejä käytetään perusolemukseltaan tahmean LD-polyeteenikalvon pintakitkan säätelyyn. Tartunta-aineita käytetään pehmentämään kalvon rakennetta. Pehmeämmällä rakenteella kalvokerrokset tarttuvat toisiinsa. Tartunta-aineita käytetään erityisesti kiristekalvon valmistuksessa. Antistaattisilla lisäaineilla pienennetään kalvon varautumista. Antistaattisia lisäaineita käytetään esimerkiksi jauhemaisten aineiden pakkausten kalvoihin.

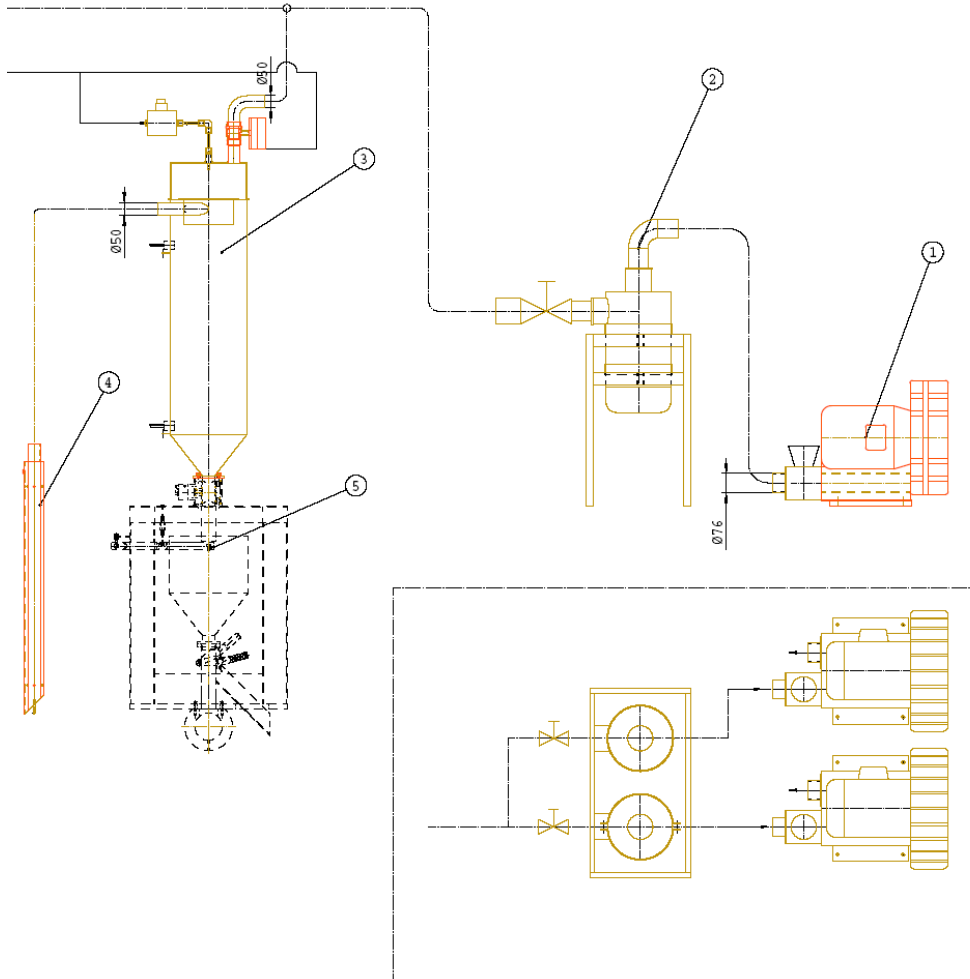
Polyeteenien värjääminen on helppoa erilaisilla väritiivisteillä. Näin kalvonvalmistajat saavat valmistettua asiakkaidensa brändeihin väritään sopivia kalvoja.

Mikko Vuorinen

### 3.4 Puhalluskalvolinjan koneet ja laitteet

Kappaleessa, 3.2 Puhalluskalvon valmistus, käytiin läpi puhalluskalvolinjan toiminta yleisesti. Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan puhalluskalvolinjan koneita ja laitteita sekä niiden tarkoitusta hieman tarkemmin.

#### 3.4.1 Raaka-aineen siirto



Kuva 5. Raaka-aineensiirtojärjestelmä: 1. Alipainepuhallin 2. Suodatin 3. Imusäiliö 4. Imusuulake 5. Gravimetri (Extron Engineering Oy)

Mikko Vuorinen

Puhalluskalvolinjoissa raaka-aine eli granulaatti siirretään lähes poikkeuksetta paineilmaa sekä maan vetovoimaa hyödyntäen. Granulaatti siirretään varastosiiloista, oktabineistä tai säkeistä alipaineputkistoa pitkin gravimetrille.

Raaka-aineimurit pyörivät koko ajan muodostaen putkistoon alipaineen. Imurit imevät ilmaa suodattimen läpi, joka poistaa epäpuhtaudet ja pidentää puhaltimien elinikää. Kun imusäiliössä oleva anturi aktivoituu granulaatin pinnan laskettua liian alas, imusäiliön päällä oleva palloventtiili avautuu ja imusäiliön yläosaan muodostuu alipaine. Granulaatti alkaa siirtyä siilosta imusuulakkeen kautta putkistoon ja sieltä imusäiliön alaosaan. Imusäiliön ylä- ja alaosa on erotettu metallisella tiheällä verkolla.

Järjestelmän ilmoitettua raaka-aineen tarpeesta gravimetrissä imusäiliön ja gravimetrin välinen luistiventtiili aukeaa ja raaka-aine virtaa gravimetrin punnistussäiliöön.

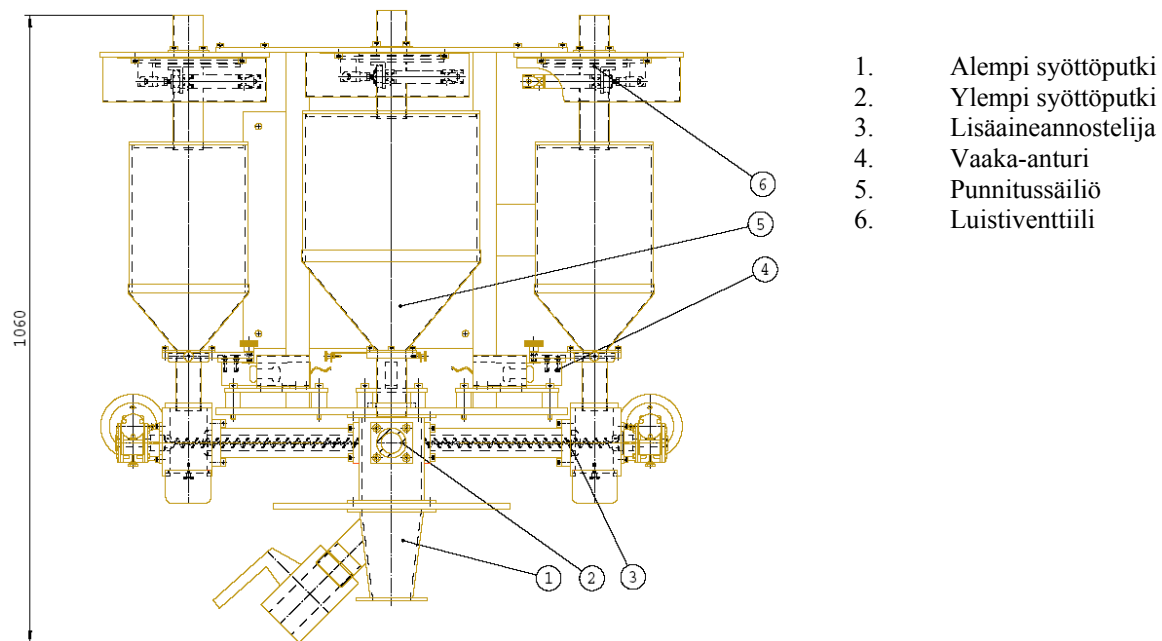
Järjestelmässä on yleensä kaksi puhallinta, joita voidaan käyttää yhdessä tai erikseen. Näin voidaan järjestää esimerkiksi huollot ilman tuotantokatkoja. Puhaltimen teho sekä alipaineputkiston putkikoko ovat oleellimmat asiat suunniteltaessa raaka-ainejärjestelmää. Granulaatin virtausnopeuden pitää olla tarpeeksi suuri, jotta tarvittavat kilot raaka-ainetta saadaan siirtymään, mutta myös liian suuri virtausnopeus aiheuttaa ongelmia, kuten pölyn muodostumista ja putkiston ennenaikaista kulumista.

### 3.4.2 Gravimetri /1, s.26/



Kuva 6. Gravimetri (Flexipack Oy 8-kerroslinja)

Mikko Vuorinen



Kuva 7. Gravimetrisin osat (Extron Engineering Oy)

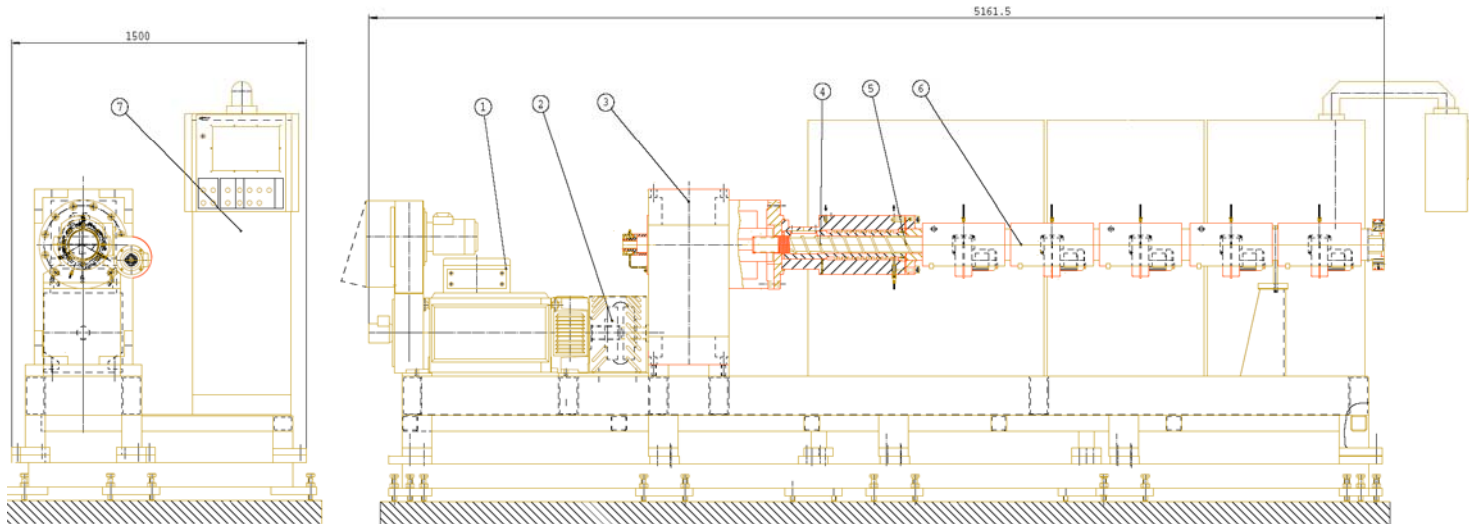
Gravimetrissä granulaatti punnitaan ja eri aineet annostellaan oikeissa suhteissa. Gravimetrisin vaaka-anturit kertovat linjaa ohjaavalle logiikalle reaaliaikaisesti ja tarkasti kulutettujen raaka-aineiden määrät. Gravimetrisin päällä olevasta imusäiliöstä tiputetaan luistiventtiilillä granulaattia aina tarvittaessa punnitussäiliöihin. Pääraaka-aine valuu suoraan syöttöputkien läpi ekstruderin syöttövyöhykkeeseen, ja lisäaineita syötetään pääraaka-aine virtaan haluttu määrä. Yhteen gravimetriin on pääraaka-aineen lisäksi mahdollista asentaa seitsemän lisäainetta syöttävää ruuviannostelijaa. Ruuviannostelijoita on kolme eri kokoa. Tämän vuoksi haluttu prosentti lisäainetta saadaan mahdollisimman tarkasti lopputuotteeseen.

Gravimetrisin vaaka-anturi tarkkailee punnitussäiliöistä kuluneen raaka-aineen määrää ja vertaa sitä kuluneeseen aikaan, esimerkiksi 100 gramman välein. Tällä tavoin ekstruderin kierrostuotto tiedetään tarkasti ja se pystytään pitämään vakaana. Kierrostuoton vaakaana pitäminen on linjanohjauksen kannalta elintärkeää, koska kierrostuotosta määräytyy ekstruderin kokonaistuotto. Kokonaistuoton mukaan ohjataan linjan muita laitteita ja niiden ominaisuuksia, kuten veto- ja kelauslaitetta sekä niiden nopeuksia.



Mikko Vuorinen

### 3.4.3 Ekstruuderit /1, s.23-24;28-30/



Kuva 8. Ekstruuderin osat: 1. sähkömoottori 2. Kytin 3. Vaihte 4. Sylinteri 5. Ruuvi 6. Lämmitysvastus + jäähdytys puhallin 7. Sähkökaappi. (Extron Engineering Oy)

Gravimetristä raaka-aine valuu ekstruuderin syöttövykkeeseen. Ekstruuderin tehtävänä on sulattaa, homogenisoida ja siirtää sulaa suuttimelle. Ekstruuderit eli ruuvimaisella kierukalla varustettu jatkuvatoiminen suulakepuristin koostuu viidestä pääosasta; sähkömoottorista, vaihteesta (varustettu aina painelaakerilla), ruuvista, sylinteristä ja lämmitys- sekä jäähdytyslementeistä. Ekstruuderin päähän asennetaan yleensä sihti sekä hydraulinen sihdinvaihtaja. Sihtin tarkoituksena on luoda ekstruuderin sylinteriin vastapainetta sekä estää epäpuhtauksien joutumista suuttimen herkille sisäpinnoille.

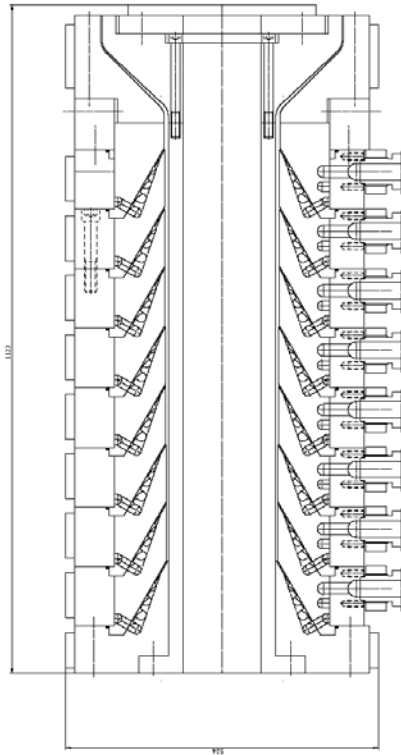
Ekstruuderin tärkein osa, sen ominaisuuksien kannalta, on sylinterin sisällä pyörivä ruuvi. Suurin osa Extron Engineering Oy:n valmistamista ruuveista on alumiiniseosteista nitrausterästä. Pintakäsittelynä on kaasunitraus ja kiillotus. Pintakäsittely antaa ruuveille vähintään 10 000 tuntia käyttöikää. Ruuvit ovat geometrisiltä muodoiltaan hyvin monimutkaisia. Pienetkin muutokset ruuvien kierteen nousuun tai esimerkiksi sydänhalkaisijaan vaikuttavat ruuvien ominaisuuksiin huomattavasti. Geometria määräytyy ajattavan aineen ja halutun tuoton mukaan.

Extron Engineering valmistaa useita eri kokoisia ekstruudereita. Kalvolinja sovelluksissa käytettyjen ekstruudereiden ruuvien halkaisija vaihtelee 18 millimetristä 160 millimetriin. Esimerkiksi 75-millimetrisellä ruuvilla varustetulla ekstruuderilla päästään noin 800 kg/h tuottoon.



Mikko Vuorinen

### 3.4.4 Suutin /1, s.31-35/



Kuva 9. 8-kerrossuutin (Extron Engineering Oy) Kuva 10. 6-kerrossuutin. (Brampton Engineering Inc)

Ekstruudereista sula, sekoittunut muovi ajetaan sihtien läpi adapteriputkia pitkin suuttimeen, jonka tehtävänä on muokata muovi haluttuun muotoon. Suuttimia valmistetaan yksikerroksisesta aina kymmenkerroksiseen asti. Esimerkiksi kuvassa 10. olevassa kahdeksankerrossuuttimessa jokainen ekstruuderit työntää oman muoviseoksensa suuttimen tiettyyn kerrokseen, jossa se etenee kierrejakajan kapenevissa kanavissa. Suuttimen rakennetta ylöspäin mentäessä jokainen kierrejakaja luovuttaa oman kerroksensa yhteiseen kanavaan. Suuttimen yläosassa kierrejakajat yhdistyvät, ja lopulta suuttimen päällä sijaitsevasta huuliraosta tulee ulos kalvoa, jossa on kahdeksan toisiinsa kiinnittynyttä kerrosta.

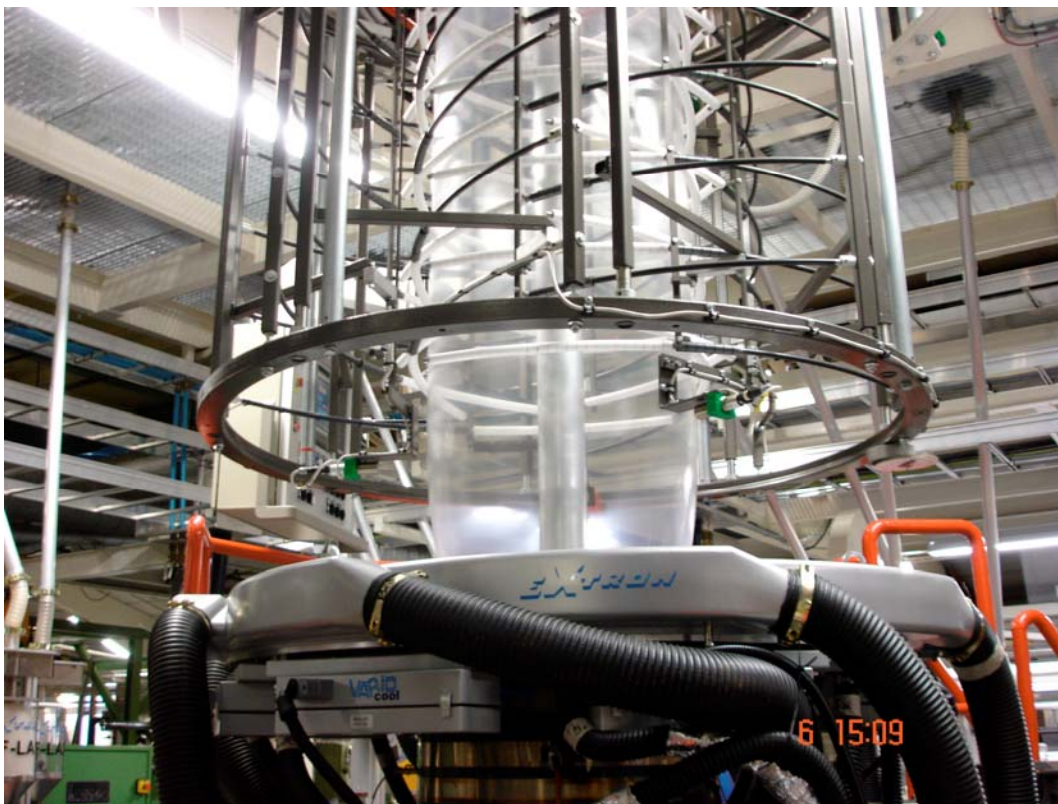
Suuttimesta nousevan kalvokupla on saatava jäähtymään mahdollisimman nopeasti. Tämän vuoksi nykyaikaisissa puhalluskalvosuuttimissa on sekä ulko- että sisäpuolen jäähtytys. Kuplan ulko- ja sisäpinnalle puhalletaan noin 20-asteista ilmaa suuttimen yläosassa sijaitsevasta ilmarenkaasta. Lisäksi kuplan sisällä on pitkä putki, jota pitkin kuumaa ilmaa poistetaan imemällä. Sisä- ja ulkopuolen jäähtytyksellä säädelään myös kuplan muotoa.

Mikko Vuorinen

Jäähtyvän kuplan geometrialla on ratkaiseva vaikutus lopputuotteen mekaanisiin ja optisiin ominaisuuksiin.

Puhalluskalvolinjassa aina joko suutin tai vetolaite on oskilloiva eli pyörivä. Pyörivällä liikkeellä saadaan aikaan tasalaatuisempia kalvorullia, koska pienet paksuusheitot kalvossa eivät päädy samaan kohtaan rullaa. Pyörivä suutin kääntyy 360 astetta ja palaa lähtöasemaansa. Oskilloivaa suutinta käytetään kuitenkin harvemmin kuin oskilloivaa vetolaitetta.

### 3.4.5 Kalibrointihäkki



Kuva 11. Kalibrointihäkki, suutin, ilmarengas ja kupla. (Flexi Pack Oy Vaasa)

Kalibrointihäkki on suuttimen yläpuolella oleva laite, jonka tehtävänä on tukea jäähtyvää kuplaa, jotta se säilyttäisi optimaalisen muotonsa. Kalibrointihäkin asemaa voidaan säätää pystysuunnassa. Tämän vuoksi se on helppo asettaa tukemaan kuplaa juuri kiderajasta lähtien eli alueelle, jossa sula muovi muuttu kiinteäksi.

Kalibrointihäkin kalvoon kosketuksissa olevat telat tai rullat ovat erittäin herkästi laakeroituja ja yleensä teflon-pinnoitettuja. Kalibrointihäkkejä valmistetaan myös siten, että ne eivät ole kosketuksissa kuplaan lainkaan. Tällöin kuplan tukeminen on toteutettu

Mikko Vuorinen

kalibrointihäkin ja kuplan välisellä ilmapatjalla. Ilmapatjalla on kuplan tukemisen lisäksi myös kuplaa jäähdyttävä vaikutus.

### 3.4.6 Verhot ja vetolaite



Kuva 12. Verhot tornin toisesta kerroksesta kuvattuna. (Flexipack Oy Vaasa)



Kuva 13. Oskilliova vetolaite (Flexipack Oy Vaasa)

Verhot ja vetolaite sijaitsevat tornin yläosassa. Tornia ylöspäin nouseva ja samalla jäähtyvä kupla litistetään putken muodosta tasoon verhojen ja vetolaitteen nipin avulla. Vetolaite tekee noin 360° pyörivää liikettä tasatakseen pienet paksuuden vaihtelut eri kohtiin kelattavaa rullaa.

Vetonopeudella ja jäähdytyspuhalluksella muodostetaan kuplan geometria. Vetolaitteella on tärkeä tehtävä pitää ylöspäin vedettävän kalvon kireys tasaisena. Vaadittava kireys vaihtelee paljon ajettavasta materiaalista ja lopputuotteen vaatimuksista riippuen.



Mikko Vuorinen

### 3.4.7 Kelauslaite

Linjan viimeisenä osana on kelauslaite, joka kelaatuu muovikalvon rullalle. Suuttimesta tultuaan kalvo on poikkileikkaukseltaan putken muotoista. Ennen kelaajaa ”putken” reunat leikataan auki ja näin saadaan kaksi kalvoa, jotka kelataan kelaajan eri puolille. Kelaajassa kalvo myös pituusleikataan, ja näin saadaan käyttötarkoitukseen sopivan kokoisia ja painoisia rullia.

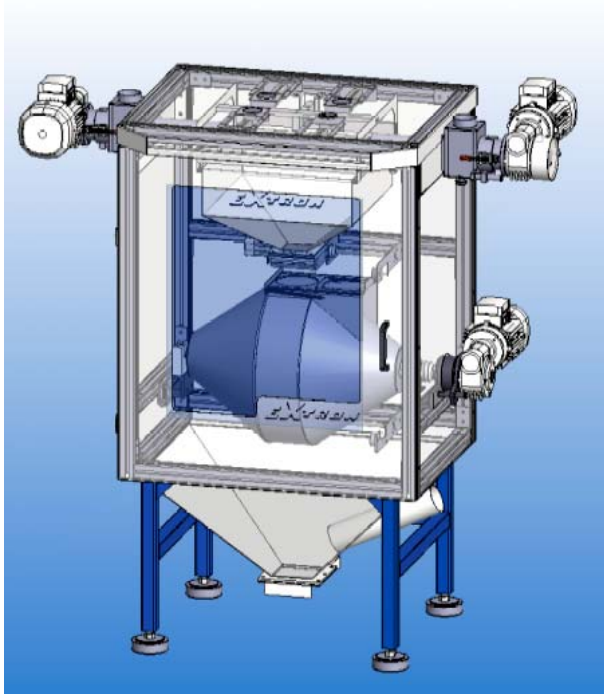


Kuva 14. Kelauslaite toiminassa Flexi Pack Oy:ssä, Vaasassa. (Extron Engineering Oy)

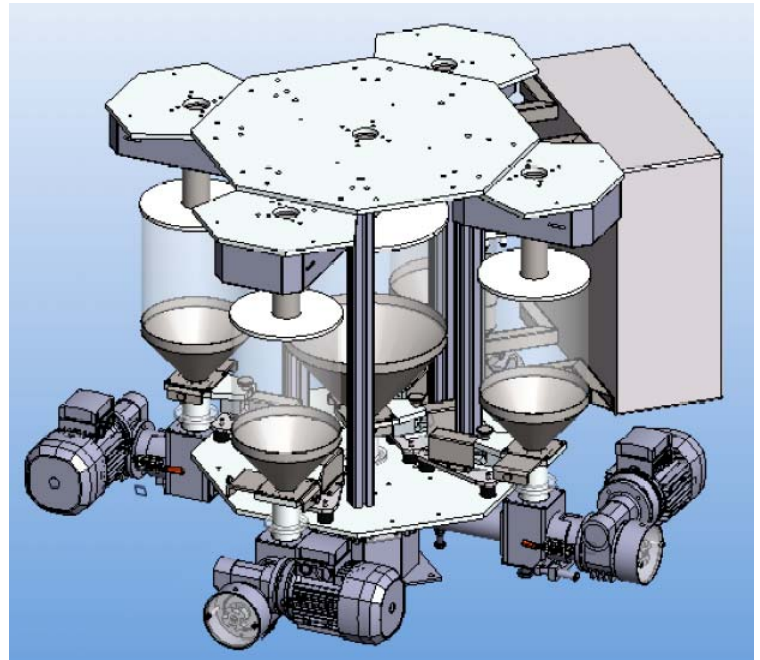
Kelaustapahtumassa tärkeintä siistin rullan saavuttamiseksi on oikea kalvon kireys. Kalvonradan kireyttä onkin kelauslaitteessa tarkkailemassa monta kireysanturia.

Extron Engineering Oy:n valmistamat kelauslaitteet ovat asiakkaita niin halutessa täysin automaattisia. Rullien tullessa kelausakselilla haluttuun kokoon, kalvo katkaistaan paineilma-käyttöisellä veitsellä, ja automatiikka vaihtaa tilalle uuden akselin, joka on ollut koneessa odottamassa vaihtoa. Täysi rulla lasketaan kuljettimelle, jota pitkin se kuljetuu pakkausrobotille. Samanaikaisesti automatiikka valmistee uuden kelausakselin koneeseen odottamaan vaihtoa.

## 4. PÄTSIGRAVIMETRI



Kuva 15. Pätsigravimetri,  
6 raaka-ainetta (Extron Engineering Oy)



Kuva 16. Normaali gravimetri,  
1 pääaine + 4 lisäainetta (Extron Engineering Oy)

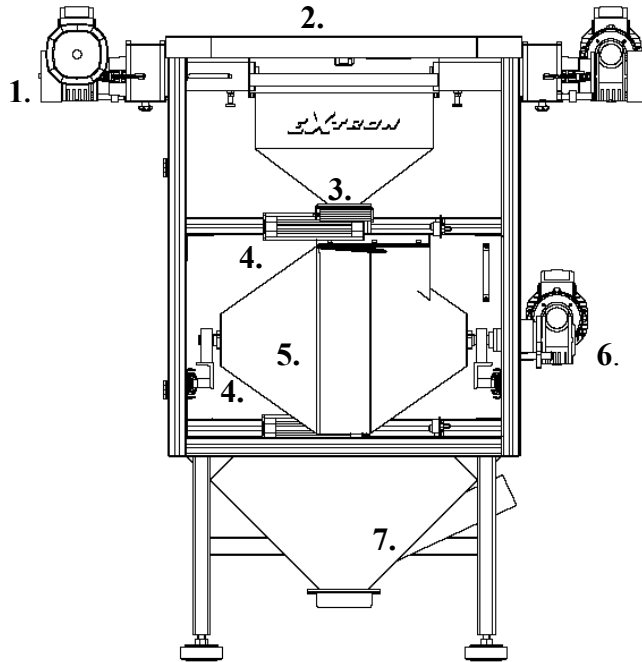
Pätsi- ja normaalin gravimetrin oleellisin ero on vaaka-antureiden määrässä. Normaalisissa gravimetreissa, kuvan 16 kaltaisessa kokoonpanossa, yhden pääaineen ja neljän lisäaineen punnitsemiseen ja sekoittamiseen käytetään viittä vaaka-anturia, koska kaikkien aineiden määrää seurataan omalla vaa'alla. Pätsigravimetrin tapauksessa, kuva 15, kuusi raaka-ainetta saadaan punnittua ja sekoitettua yhdellä vaaka-anturilla, koska raaka-aineet punnitaan ja sekoitetaan yhtenä annoksena eli pätsinä.

Pätsigravimetriä käytetään kappaleessa 3.3.2 mainitun gravimetrin sijasta sovelluksissa, jossa annosten tarkkuudelta ei vaadita yhtä paljon kuin normaalin gravimetrin käyttösovelluksissa. Kalvonvalmistajien halu käyttää pätsigravimetrejä normaali gravimetrien tilalla on ymmärrettävä, koska raaka- ja lisäaineiden yhteismäärä voi olla jopa 30 yhdessä tuotteessa.

Mikko Vuorinen

Vaikka pätsigravimetriä käytettäessä annostelutarkkuus hieman kärsiikin, saavutetaan hinnassa huomattava etu. Vaaka-anturien väheneminen ei itsessään laske hintaa paljoa, mutta vaaka-anturien tarvitsemien sähköisten oheislaitteiden väheneminen alentaa hintaa huomattavasti.

1. Lisäaineruviannostelija
2. Raaka-aineventtiili
3. Punnitussäiliö
4. Avaussylinteri
5. Sekoitussäiliö
6. Pyöritysyksikkö
7. Alakartio



Kuva 17. Pätsigravimetrin toiminnan kannalta tärkeät osat.

Työssä suunnittelemassani pätsigravimetrissä raaka-aineet annostellaan raaka-aineventtiileillä ja ruuviannostelijoilla samaan punnitussäiliöön yhdeksi annokseksi.

Pätsigravimetriin saa neljä raaka-aineventtiiliä ja neljä lisäaineen ruuviannostelijaa, eli yhteensä kahdeksaa eri ainetta. Raaka-aineet annostellaan punnitussäiliöön yksitellen, punniten jokainen annos. Annoksia aletaan päästää suurimmasta määrästä pienempään. Jos suurempiin annoksiin tulee heittoa, yritetään se korjata lisäämällä tai vähentämällä muiden annosten suuruutta.

Punnitussäiliöstä raaka-aineet tiputetaan sekoitussäiliöön, kun se on valmiina ottamaan uuden annoksen vastaan. Sekoitussäiliö pyörii sähkömoottorin voimalla, ja se pysäytetään anturoinnin avulla ylä- ja ala-asentoon eli täyttö- ja tyhjennysasentoon. Sekoitussäiliön pysähtyttyä täyttöasentoon avaussylinteri vetää säiliössä olevan luistin auki. Punnitussäiliön luistiventtiili aukeaa, ja raaka-aineannos valuu sekoitussäiliöön. Sekoitussäiliön avannut paineilmasylinteri avautuu, ja luistissa olevat jouset vetävät luistin kiinni. Samaan aikaan punnitussäiliön luistiventtiili on sulkeutunut ja sinne aletaan tehdä uutta annosta.

Mikko Vuorinen

Sekoitussäiliö pyörii noin yhden kierroksen sekunnissa. Säiliön sisällä olevat haittalevyt ja pyörivä liike sekoittavat raaka-aineet. Sekoituksen pyörittyä tietyn ajan sekoitussäiliö pysähtyy ala-asentoon, ja toinen avaussylinteri avaa luistin. Sekoittuneet raaka-aineet valuvat alakartiin. Alakartiosta raaka-aineet imetään alipainepuhaltimella ekstruuderiin. Tällä välin sekoitussäiliön luisti on sulkeutunut ja se on hakeutunut ylä- eli täyttöasentoon.

Kappaleessa 3.3.2 kerrottiin, kuinka normaali gravimetri tarkkailee alituisesti raaka-ainemäärien vajeen punnitussäiliöissä. Vajeen puolestaan laskettiin tarkka kierrostoitto, jota käytettiin linjanohjaukseen. Pätsigravimetrin tämän hetkellä rakenteella vajeen mittaus ajan suhteen ei ole mahdollista. Pätsigravimetri onkin suunniteltu omaksi sekoitusyksiköksi, josta raaka-aine imetään yksinkertaiseen yksivaakaiseen gravimetriin ekstruuderin päälle. Tästä gravimetristä saadaan valmiin sekoituksen vaje. Kahdella kapasitiivisella anturilla varustetulla syöttöputkella, johon raaka-ainesekoitus alakartiosta laskeutui, pätsigravimetristä saisi helposti myös vajeen tarkkailevan yksikön.

Seuraavissa kappaleissa tutustaan tarkemmin pätsigravimetrin mekaaniseen toimintaan ja sen suunnitteluun.

## 5. SUUNNITTELU

### 5.1 Suunnittelun tavoitteet

Suunnittelun ehdottomia tavoitteita oli täyttää asiakkaan asettamat lähtökohdat. Asiakkaalla oli linjan ekstruudereiden mukaan määräytynyt vaatimus raaka-aineen määrästä, joka menee pätsigravimetristä läpi tunnissa, raaka-aineiden lukumäärä sekä pätsigravimetrin sijoituspaikka tehdas-layoutissa.

Tavoitteena oli suunnitella mekaanisesti varmatoiminen ja tarkoitukseen sopiva laite. Helppo puhdistettavuus oli otettava myös huomioon suunnittelussa. Laitteen yksityiskohtien ja yksittäisten osien tuli olla mahdollisimman yksinkertaisia ja helposti valmistettavia.

Pätsigravimetristä on tarkoitus tehdä tuoteperhe, joka kattaa suuren tuottoalueen erilaisissa sovelluksissa. Tuoteperhe-ajattelu tuli huomioida mietittäessä eri vaihtoehtoja ja ratkaisuja. Tuotteesta oli saatava myös suhteellisen halpa, noin kolmannes normaalin gravimetrin hinnasta, jotta alkuperäinen idea halvemmasta vaihtoehtosta säilyisi.

## 5.2 Suunnittelun lähtökohdat

Pätsigravimetrin fyysistä kokoa lähdettiin selvittämään asiakkaan tuottovaatimuksesta, 500 kg/h. Koska tuoton on oltava varmasti 500 kg/h, laitteesta on mentävä joka minuutti kymmenen kiloa raaka-ainetta läpi. Koska punnitus- ja sekoituvaihe voivat olla käynnissä saman aikaisesti, kummallakin toimituksella on noin minuutti aikaa. Punnitussäiliöstä, johon raaka-aineet lasketaan punnitukseen, tehtiin tilavuudeltaan noin 25 dm<sup>3</sup>. Sekoitussäiliön tilavuudeksi muodostui noin 40 dm<sup>3</sup>. Granulaatin tiheyden ollessa noin 5g/cm<sup>3</sup> punnitussäiliöön mahtuu noin kymmenen kilogrammaa raaka-ainetta. Sekoitussäiliön tilavuus on lähes puolet suurempi, koska sitä ei hyvän sekoittumisen saavuttamiseksi täytetä kuin puolilleen.

Pätsigravimetrin perus rakenne oli alusta asti selvillä; yläpuolella punnitussäiliö ja alapuolella raaka-aineet jotenkin sekoittava tila. Sekoitukseen olikin useita erilaisia vaihtoehtoja. Muut valmistajat käyttävät esimerkiksi kaksoiskierteistä ruuvia, joka sekoittaa raaka-aineita siirtämällä niitä astian keskikohtaa kohden. Toinen yleinen tapa on astiassa pyörivä akseli johon on hitsattu lapoja, jotka sekoittavat raaka-aineen. Omia vaihtoehtoja niinsanotun betonimylly-rakenteen lisäksi oli muun muassa pystyruuvi sekä paineilmasekoitus. Pystyruuvi-mallissa hitaasti pyörivä ruuvi olisi nostanut granulaatteja väljää sylinteriputkea pitkin ylöspäin samalla sekoittaen niitä. Paineilmasekoituksessa raaka-aineet olisi sekoitettu säiliöön suunnattujen ilmasuihkujen avulla.

Pätsigravimetri valmistetaan betonimylly-ratkaisuun perustuvalla sekoitustekniikalla. Ratkaisuun päädyttiin, koska sekoitavuus on oletettavasti erittäin hyvä. Ratkaisu on myös täysin erilainen kuin muilla valmistajilla, joten se saa näkyvyyttä esimerkiksi messuilla.

Jokaisen alikokoonpanon suunnittelussa lähtökohtana oli saada toteutettua se mahdollisimman vähillä osilla, jotka voisivat tuotannon aikana tärstä irti tai tippua ja joutua raaka-ainevirran mukana ekstruuderin ruuviin. Ekstruuderiin joutunut pienikin ruuvi tai priikka saisi aikaan mittavia tuhoja.

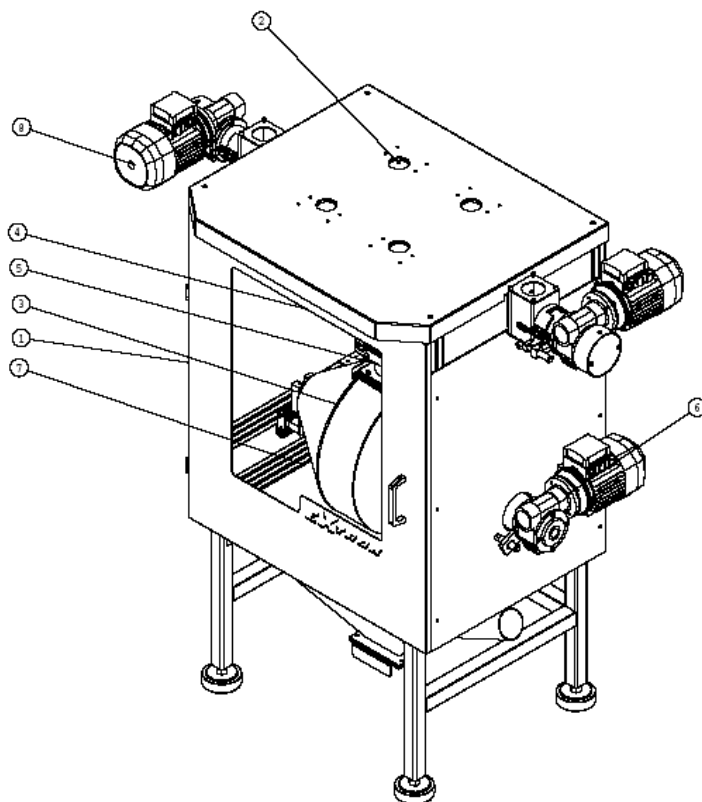


Mikko Vuorinen

### 5.3 Kokoonpano

Pätsigravimetri on jaettu kahdeksaan alikokoonpanoon, joista seitsemän on täysin kyseistä laitetta varten suunniteltu ja yksi on lainattu jo olemassa olevasta gravimetristä. Lisäaineannostelija on käytössä pätsigravimetrissä lähes samanlaisena kuin normaalissa gravimetrissä.

1. Runko
2. Raaka-aineventtiili
3. Sekoitusyksikkö
4. Punnitusyksikkö
5. Avausyksikkö (yläasento)
6. Pyöritysyksikkö
7. Avausyksikkö (ala-asento)
8. Lisäaineannostelija



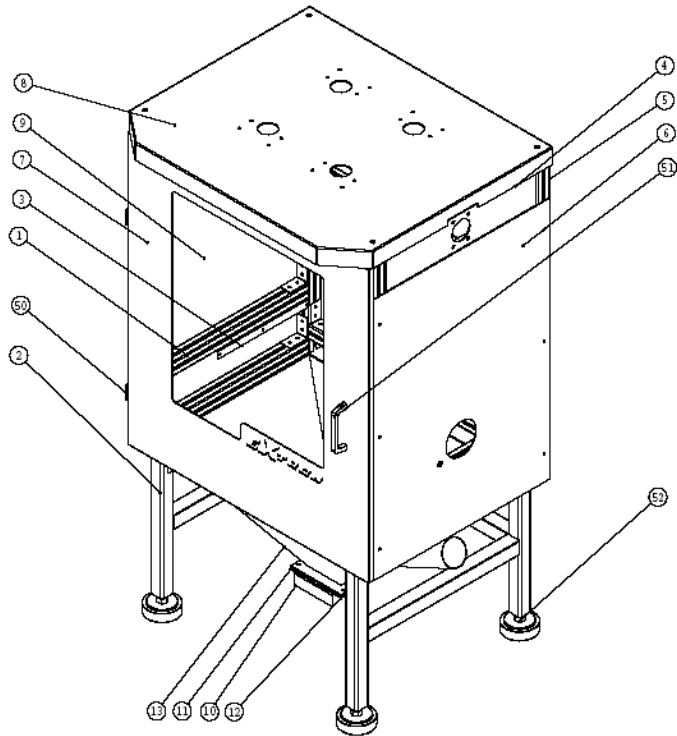
Kuva 19. Pätsigravimetrin alikokoonpanot

Seuraavissa kappaleissa tutkitaan pätsigravimetrin eri kokoonpanojen suunnittelua tarkemmin. Avausyksikköjen kokoonpanoista käsitellään vain toinen kappaleessa 5.3.6, koska ala- ja yläasennon avausyksikkö ovat lähes identtiset. Lisäaineannostelijan rakenne käydään läpi ainoastaan läpi pätsigravimetriin tehtyjen muutosten osalta. (Kokoonpanokuva liitteessä 1.)

Mikko Vuorinen

### 5.3.1 Runko

1. Kehikko V2086
2. Tukijalka V2251
3. Kiinnike V2243
4. Kiinnike V2245
5. Takalevy V2093
6. Suoja V2223
7. Keskiosa V2090
8. Kansi V2088
9. Suoja V2247
10. Luisti V2336
11. Välilevy V2342
12. Alalevy V2344
13. Pohjakartio V2249
50. Sarana K3307
51. Kahva K3305
52. Konejalka K3310



Kuva 20. Pätsigravimetrin rungon osat.

Rungon suunnittelu alkoi tyhjästä, koska vastaavaa laitetta ei Extron Engineering Oy ole aikaisemmin valmistanut. Suunnittelun perustana oli tieto sen sijoituspaikasta ja laitteen tuottovaatimuksista. Pätsigravimetri sijoitetaan tavallisesta gravimetristä poiketen laittialle, ei ekstruuderin syöttövyöhykkeen päälle. Punnitus- ja sekoitussäiliöiden tarvitseman tilan ollessa tiedossa runko voitiin mitoittaa.

Perusrungon materiaalina toimii 40x40 millimetrinen alumiiniprofiili, jota käytetään myös gravimetrin rugossa. Alumiiniprofiilirunko on hitsattua rakennetta mittatarkempi, kevyempi ja osien kiinnitys mahdollisuudet profiiliin uriin ovat laajat. Haittapuolena profiilissa ovat sen urat, jotka keräävät pätsigravimetrin tapauksessa erittäin haitallista roskaa. Ongelma voidaan kuitenkin poistaa kiinnittämällä alumiiniprofiilin uriin suojalistat. Alumiiniprofiilien liittäminen päätettiin toteuttaa osto-osien sijaan omavalmisteisilla kulmakiinnikkeillä kustannussyistä.

Suojapellien, katon, alakartion ja oven materiaalina käytetään puolitoista-millimetristä peltiä, joka pintakäsitellään maalaamalla. Rungon peltiosien valmistusteknisistä seikoista kävin ohutlevyitä valmistavan alihankkijamme kanssa keskusteluita, joista tulikin elintärkeää tietoa esimerkiksi oven suunnittelusta kanttaamisen helpottamiseksi. Oveen

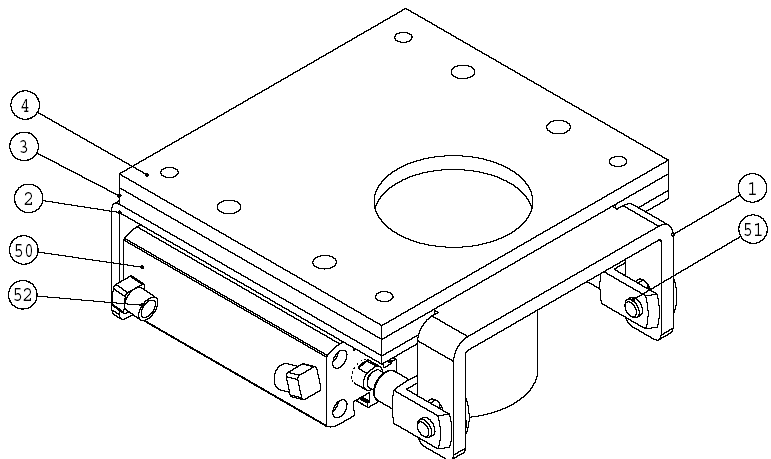
Mikko Vuorinen

lisätyn polykarbonaatti-ikkunan ansiosta laitteen oikean toiminnan voi todentaa silmämääräisesti.

Rungon, kuten muidenkin kokoonpanojen, suunnittelussa pyrkimyksenä oli minimoida pultin tai jonkin muun vieraan komponentin joutumis mahdollisuus raaka-ainevirtaan. Pultittomien konstruktioiden ja pulttiliitosten liimalla varmistamisen lisäksi pätsigravimetrim pohjakartioon laitetaan magneetti, joka viimeistään kaappaa irroneen komponentin. (Kokoonpanokuva liitteessä 2.)

### 5.3.2 Raaka-aineventtiili

- 1. Luisti V2268
- 2. Alalevy V2385
- 3. Välilevy V2271
- 4. Ylälevy V2386
- 50. Paineilmasyylinteri K3373
- 51. Haarukkakiinnike K3374
- 52. Pikaliitin K3146



Kuva 21. Pätsigravimetrim raaka-aineventtiili.

Pätsigravimetrim punnitussäiliöön annostellaan raaka-aineita kahdella tapaa, luistiventtiileillä ja ruuviannostelijoilla. Raaka-aineventtiilit on kiinnitetty pätsigravimetrim rungon kanteen. Extron Engineering Oy:llä on käytössä luistiventtiileitä raaka-aineen annostelussa muissa laitteissa, mutta pätsigravimetriä varten oli suunniteltava uudet venttiilit, koska venttiileitä on mahduttava kanteen neljä kappaletta. Venttiilien on oltava myös erittäin varmatoimisia ja tarkkoja, koska niiden toiminta vaikuttaa suoraan koko laitteen tarkkuuteen ja toimintavarmuuteen.

Kappaleessa 5.2 todettiin, että kymmenen kilogrammaa raaka-ainetta on valutettava punnitussäiliöön, punnittava ja valutettava pois yhdessä minuutissa. Nopean täytön saavuttamiseksi reiän, josta raaka-aine valuu, on oltava tarpeeksi suuri. Mittausten mukaan 50 millimetrisestä reiästä valuu noin 15 kilogrammaa granulaattia minuutissa.

Venttiili oli aluksi suunniteltu toimimaan yhdellä kompaktisylinterillä, mutta luistin muodosta tuli tuolla konstruktiolla epäedullinen raaka-ainevirran sulkemisen kannalta. Raaka-aineventtiili toteutettiin kahdella sylinterillä varustettuna, koska tällöin luisti on nopea

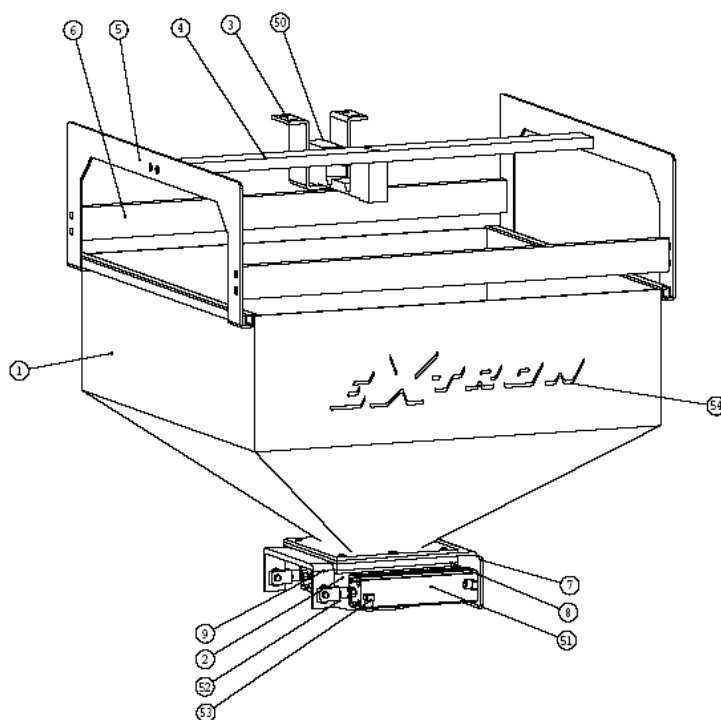
Mikko Vuorinen

ja varmatoiminen. Reiän halkaisijan mukaan valittiin Festolta paineilmasylinteri, jonka iskunpituus on tarpeeksi suuri sulkemaan reikä.

Raaka-aineventtiilin toimintavarmuuden takaamiseksi ylä- ja alalevyn välinen tila oli suunniteltava sellaiseksi, ettei granulaatti mahtuisi jumittamaan rakennetta. Pätsigravimetrim tapauksessa ylä- ja alalevyn välinen tila on kuusi millimetriä. Venttiilin metalliosat valmistetaan normaalista teräslevystä ja pintakäsitellään sähkösinkitsemällä. (Kokoonpanokuva liitteessä 3.)

### 5.3.3 Punnitusyksikkö /2, s.15/

1. Punnitussäiliö V2095
2. Alalevy V2410
3. Kiinnike V2275
4. Ripustin V2277
5. Kannatin V2283
6. Tuki V2285
7. Ylälevy V2404
8. Välilevy V2406
9. Luisti V2408
50. Punnitusanturi K2346
51. Paineilmasylinteri K3410
52. Haarukkakiinnike K3374
53. Pikaliitin K3146
54. Extron - tarra



Kuva 22. Pätsigravimetrim punnitusyksikkö.

Punnitusyksikön kohdalla suunnittelussa oli kaksi selkeää lähtökohtaa: tuoton määrittelemä tilavuus ja punnitusanturin sijoittelu.

Kappaleen 5.2 päätelmien mukaan tarvittava tilavuus oli 25 dm<sup>3</sup>, näin ollen yhteen punnitukseen mahtuu kerrallaan noin 10 kg raaka-ainetta. Tilankäytön vuoksi sopivin muoto punnitussäiliölle oli suorakaiteenmuoto. Suorakaiteen muotoisessa säiliössä on valumakulman oltava hiukan suurempi, vähintään 35°, kuin ympyräkartion muotoisessa

Mikko Vuorinen

astiassa. Tilavuus ja valumakulman suuruus huomioon ottaen punnitussäiliön muodosta tuli kuvan V2095 mukainen. Punnitussäiliö valmistetaan 1,5 millimetrin pellistä ja pintakäsitellään maalamalla.

Punnitusanturin sijoittamisessa oli kaksi vaihtoehtoa, joko asettaa punnitussäiliö roikkumaan anturista tai asettaa anturi säiliön alle. Pätsigravimetrin suunnittelussa helpon puhtaanapidon ollessa yksi suunnittelun lähtökohdista myös punnitussäiliön on oltava helposti irrotettavissa ja puhdistettavissa. Helpon puhdistettavuuden vuoksi säiliö oli tarkoituksenmukaisempaa asettaa roikkumaan anturista. Näin sijoitettuna punnitussäiliötä on helppo nostaa hiukan ja vetää ulos kannatinraudasta.

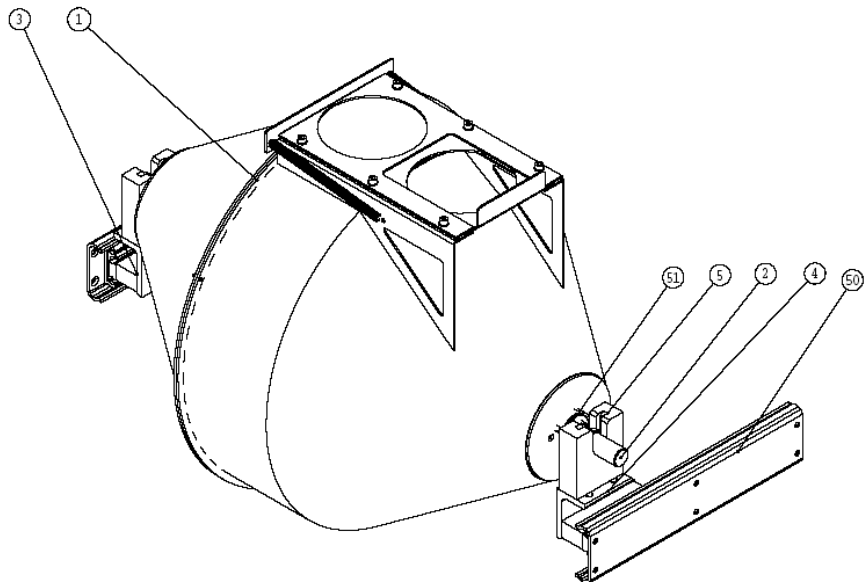
Kevyen ja tukevan rakenteen saavuttamiseksi punnitussäiliön kannatinrauta on valmistettu laserleikatuista poskilevyistä ja alumiinilatoista. Kannatin oli suunniteltava siten, että anturin mittaama massa on mahdollisimman keskeisesti punnituspisteeseen nähden. Teräslevyt pintakäsitellään sähkösinkityksellä ja alumiinilatat lasikuulapuhalletaan.

Punnitussäiliön pohjassa olevan venttiilin toimintaperiaate ja osat ovat lähes samanlaisia kuin raaka-aineventtiilissä. Verrattuna raaka-aineventtiilin osiin, punnitussäiliön venttiilissä ainoastaan paineilmasylinterien iskut ovat pidemmät ja levyissä oleva reikä on neliö. Nopean irrotettavuuden vuoksi paineilmasylintereille tuleva ilma on kytketty sylintereihin pikaliittimellä. (Kokoonpanokuva liitteessä 4.)

### 5.3.4 Sekoitusyksikkö

/2, s.15, 3 s. 420/

- 1. Sekoitussäiliö V2136
- 2. Akseli V2154
- 3. Kiinnike V2175
- 4. Kiinnike V2187
- 5. Laakeri V2176
- 50. Teleskooppijohde K3237
- 51. Akselimutteri M25x1.5



Kuva 23. Pätsigravimetrin sekoitussäiliö.

Sekoitusyksikkö muodostuu sekoitussäiliöstä, liukulaakereista ja teleskooppijohteista.

Mikko Vuorinen

Helpo puhdistettavuuden vuoksi sekoitussäiliö pyörii kahden polyamidista jyrstyn, voitelemattoman liukulaakerin päällä, josta se on helppo nostaa pois ilman työkaluja. Sekoitussäiliön irrotuksen helpottamiseksi se on asennettu liukukiskojaen päälle. Liukukiskojen vuoksi säiliön voi vetää pätsigravimetristä ulos ennen pois nostoa. Liukukiskot ovat neljäosaiset, 140 % alkuperäisestä pituudesta pidentyvät ja kuulalaakereilla varustetut.

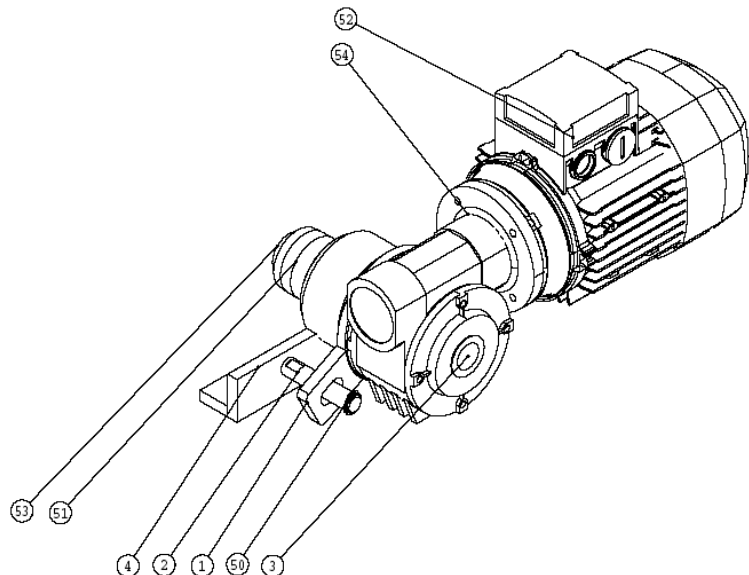
Kappaleen 5.2 mukaisesti sekoitussäiliö tuli suunnitella 40-litraiseksi. Näin ollen säiliö on puolillaan yhden punnitusannoksen täytöllä ja sekoittuvuus pysyy hyvänä. Punnitussäiliön tapaan sekoitussäiliössä piti valumakulma suunnitella tarpeeksi suureksi, nopean ja täydellisen tyhjentyvyyden varmistamiseksi.

Itse sekoitussäiliö muodostuu kahdesta kartoista, luistin osista sekä akselist, joka pitää puoliskot paikallaan. Akselin päissä olevat akselimutterit irrottamalla sekoitussäiliö halkeaa keskeltä ja on näin ollen myös helppo puhdistaa. Sekoitussäiliöön kiinnitetyn luistiventtiilin toiminta oli pätsigravimetria suunniteltaessa yksi ongelmista. Koska sekoitussäiliö pyörii sekoituksen aikana, ei sinne voi viedä paineilmaa tai sähköä. Ongelman ratkaisu ovat jouset, jotka vetävät luistin kiinni, kun ulkopuolinen avausylinteri lakkaa painamasta luistia. Jousien ja muidenkin luistin osien asennuksessa on oltava erittäin tarkka ja käytettävä erilaisia liimoja ruuvien kiinnityksissä, koska yksikin irtonainen ruuvi raaka-ainevirrassa tuhoaa ekstruuderin ruuvin ja sylinterin.

Sekoitussäiliön sisällä olevat lavat ovat yksi oleellisimmista yksittäisistä osista koko pätsigravimetrissä. Lajoja on sekoitussäiliön sisällä viisi, ja ne on hitsattu kiinteäksi osaksi toista kartiota. Lavat on asetettu kartion kehälle 60° välein siten, että tyhjennys/täyttöaukon kohdalle jää vapaa tila. Paremman sekoittuvuuden vuoksi lavat on lisäksi hitsattu 15° kulmaan vaakatasoon nähden. Sekoitussäiliön pyöriessä lapojen on tarkoitus nostaa raaka-ainetta säiliön kehältä ja tiputtaa sitä säiliön keskiöön sekä lisäksi siirtää granulaatteja vaakasuunnassa samalla sekoittaen niitä. (Kokoonpanokuva liitteessä 5.)

### 5.3.5 Pyöritysyksikkö

- 1. Kiinnityslevy V2204
- 2. Akseli V1984
- 3. Akseli V2295
- 4. Kiinnitysholkki V2206
- 50. Pidätinrenkas A15
- 51. Kytke, naaras, K3240
- 52. Sähkömoottori, K3059
- 53. Kytke, uros, K3238
- 54. Vaihte, K3054



Kuva 24. Pätsigravimetrin sekoitussäiliön pyöritysyksikkö.

Mikko Vuorinen

Sekoitusyksikön pyöryksen toteuttamiseen oli suunnittelun alkuvaiheessa kaksi vaihtoehtoa; sähkömoottori tai paineilmasylinteri. 360° pyörivällä paineilma sylinterillä olisi sekoitussäiliön täyttö- ja tyhjennysasentoon paikoitus ongelma saatu ratkaistua, mutta komponentit olisivat olleet liian kalliit. Pyöryksen toimilaitteeksi valittiin sähkömoottori ja kulmavaihte.

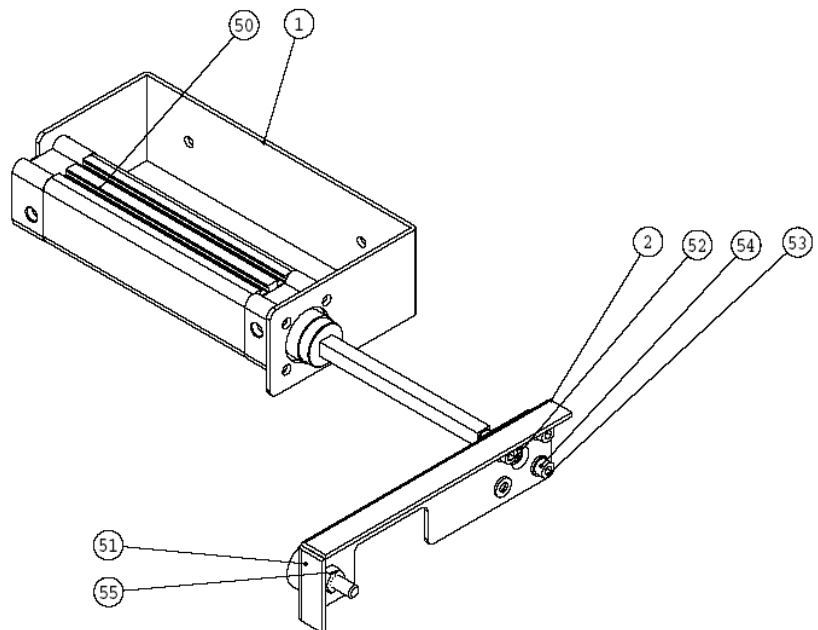
Sekoitussäiliötä pyörittävässä pyörysyksikössä käytetään samaa Bonfigliolin vaihdetta ja 0.37 kW kolmivaiheista oikosulkumoottoria kuin normaalin gravimetrin lisäaineannostelijassa. Vaihteen välityssuhde on 10:1, ja moottorin teoreettiset maksimi kierrokset 1500 kierrosta minuutissa. Taajuusmuuttajan avulla moottoria pystytään pyörittämään siten, että sekoitussäiliö pyörii noin 60 kierrosta minuutissa. Ensimmäisten testisekoitusten jälkeen arvioidaan pitääkö kierroksia olla enemmän vai vähemmän.

Teho välitetään moottorilta ja vaihteelta sekoitussäiliölle toisioakselilla ja kytkimellä. Kytkimenä kokoonpanossa on Bowex 24 Junior, joka on helposti aukeava ja itsekeskittävä.

Koska sekoitussäiliö voidaan vetää pätsigravimetristä ulos teleskooppijohteita pitkin, on kytkin saatava aukeamaan helposti ja nopeasti. Moottori-vaihdepakettia pitää saada siirrettyä noin 30 millimetriä ulospäin, jotta sekoitussäiliö mahtuu tulemaan ulos rungon sisältä. Ulosvedon toteuttamisessa käytetään samaa periaatetta kuin normaalin gravimetrin lisäaineannostelijan kokoonpanossa. Konstruktiossa tarkalle toleranssille sorvattu putki menee vastakappaleen sisään keskittäen kytkimen oikeaan kohtaan. Akseli pitää moottorin ja vaihteen vaakatasossa. (Kokoonpanokuva liitteessä 6.)

### 5.3.6 Avausyksikkö

- 1. Kiinnike V2326
- 2. Vastin V2314
- 50. Paineilmasyylinteri K3409
- 51. Pysäytin K3149
- 52. Kytkentäkappale K3325
- 53. Kuusiokoloruuvi M6x10
- 54. Aluslaatta M6
- 55. Mutteri M8



Kuva 25. Pätsigravimetrin sekoitussäiliön luistin avausmekanismi.

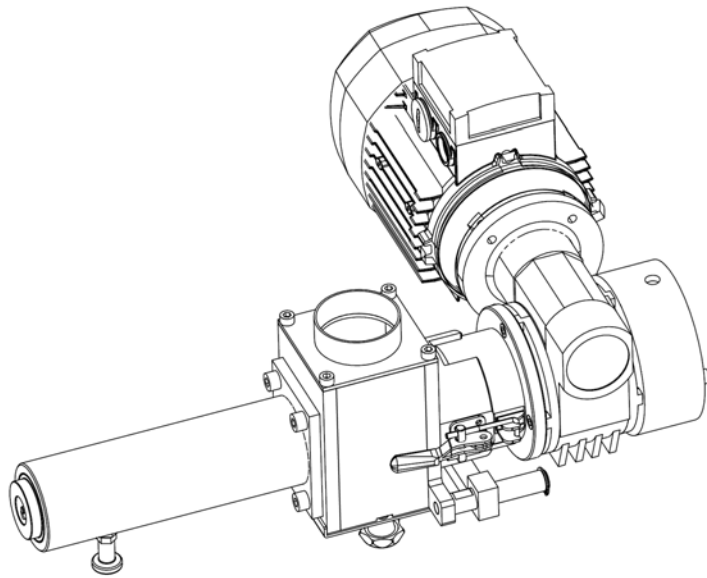
Mikko Vuorinen

Avausyksiköitä pätsigravimetrissä on kaksi, toinen avaamassa sekoitussäiliötä täyttöasemassa ja toinen tyhjennysasemassa. Koska ylä- ja ala-avausyksiköt ovat lähes identtisiä, vastinta lukuunottamatta, tässä kappaleessa keskitytään vain toiseen kokoonpanoon.

Avausyksikön rakenne on yksinkertainen: kiinnike, joka kannattelee paineilmasylinteriä sekä paineilmasylinterissä oleva kumityynyillä varustettu vastin, joka painaa sekoitussäiliön luistin auki. Paineilmasylinteri on valittu Feston-vakiosylintereistä, pyörimättömällä männänvarrella varustettuna.

Ohutlevyosat valmistetaan tavallisesta teräslevystä ja pinnoitetaan sähkösinkityksellä. Vastinosaan tulee jonkin verran vääntöä painettaessa sekoitussäiliön luistiventtiiliä auki. Tämän vuoksi vastinosan kaksi reunaa kantataan rakenteen jäykistämiseksi. (Kokoonpanokuva liitteessä 7.)

### 5.3.7 Lisäaineannostelija



Kuva 26. Pätsigravimetrin lisäaineannostelija.

Lisäaineannostelijoita käytetään normaalissa gravimetrissä granulaatin annosteluun. Extron Engineering Oy on käyttänyt kolmea erikokoista ruuviannostelijaa. Raaka-aineen tarpeesta riippuen käytössä on ruuvin halkaisijaltaan 13 millimetrinen, 17 millimetrinen tai 25 millimetrinen ruuvi. Ruuvin ja sylinterin sisähalkaisijaa sekä moottorin pyörimisnopeutta muuttamalla päästään useimmissa tapauksissa toivottuun lisäaineen prosenttiosuuteen koko raaka-aineen kulutuksesta.



Mikko Vuorinen

Pätsigravimetrissä suuremmat raaka-aine määrät annostellaan raaka-aineventtiileillä. Pienemmät prosenttiosuudet puolestaan lisätään annokseen lisääaineannostelijoilla.

Normaalin gravimetrin lisääaineannostelija kävi tarkoitukseen vain yhtä osaa muuttamalla. Sylinteriputken toisen laipan poistamisella annostelija käy pätsigravimetriin erittäin hyvin.

## 6. YHTEENVETO

Työtä tehdessäni suunnitteluprosessin todellinen kulku hahmottui itselleni paremmin. Uuden tuotteen luomiseen kuuluu valtavasti erivaihtoehtojen pohdiskelua, ryhmässä sekä yksin, ja niistä käyttökelpoisimpien valitsemista. Ajatustyön lisäksi suuri osa prosessista on mekaanista työtä, osakuvien piirtämistä. Todellinen työmäärä hahmottui suunnittelun edetessä, kun yhden ongelman ratkaisemisen jälkeen edessä oli kaksi uutta.

Tätä kirjoittaessani pätsigravimetriä ei vielä fyysisesti ole olemassa, eli todellinen työ alkaa vastaa kun prototyypit saadaan testaukseen. Koneen useat yksityiskohdat ovat sen luontoisia, että niiden todellinen toiminta selviää vasta testitilanteessa. Tuotekehitystä on tapahtunut jo nyt, vaikkei tuotetta ole vielä olemassa. Uusia vaihtoehtoja ja ratkaisuja ilmenee koko ajan.

Pätsigravimetrin suunnittelussa tavoitteena oli saada aikaan toimiva, asiakasta tyydyttävä sekä normaalia gravimetriä halvempi vaihtoehto raaka-aineen sekoitukseen ja annosteluun. Alustavien tarjouskyselyjen, lisenssimaksujen ja valmistamiseen kuuluvien työtuntien mukaan yhden pääraaka-aineen ja kolmen lisääineen pätsigravimetrimille tulisi hintaa noin 12 000 euroa. Vastaavan normaalin, monivaakaisen, gravimetrin hinta on noin 35 000 euroa. Edellä mainittujen lukujen valossa pätsigravimetrimille olisi löytymässä paikka Extron Engineering Oy:n tuotteiden joukosta.

## LÄHTEET

1. Kirk Cantor, Blow Film Extrusion, an Introduction. Hanser. Munich 2006. 154 s.
2. Mauri Airila – Kalevi Ekman – Pekka Hautala – Seppo Kivioja – Matti Kleimola – Heikki Martikka – Juha Miettinen – Erkki Niemi – Aarno Ranta – Jari Rinkinen – Pekka Salonen – Arto Verho – Matti Vilenius – Veikko Välimaa, Koneen osien suunnittelu. WSOY. Porvoo 1997. 650 s.
3. Neste Oy, Muovien säilöminen ja kuljetus. 1991. 52 s.

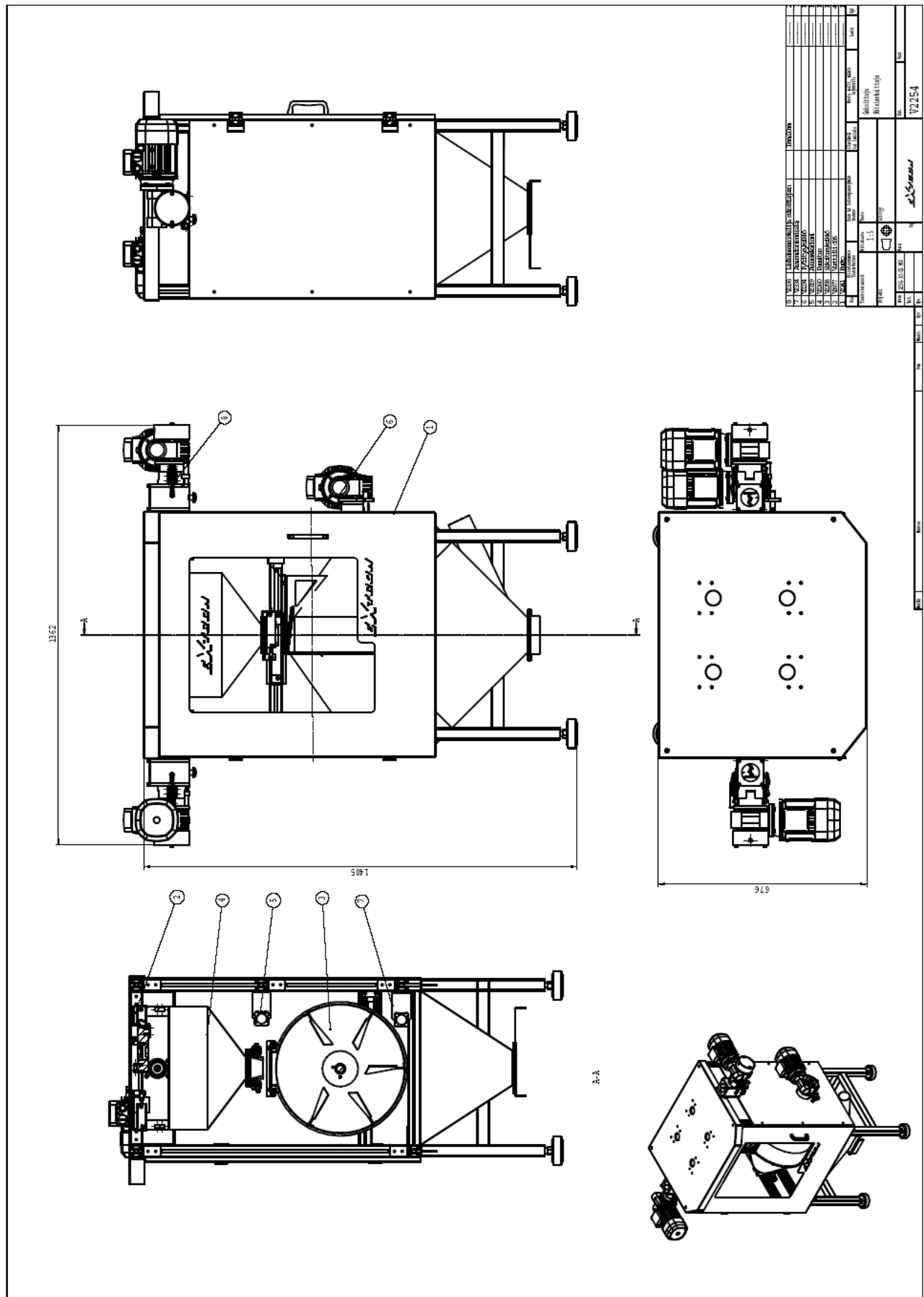
Mikko Vuorinen

## LIITELUETTELO

1. Pääkokoonpano
2. Rungon kokoonpano
3. Raaka-aineventtiilin kokoonpano
4. Punnitusyksikön kokoonpano
5. Sekoitusyksikön kokoonpano
6. Pyöritysyksikön kokoonpano
7. Avausyksikön kokoonpano

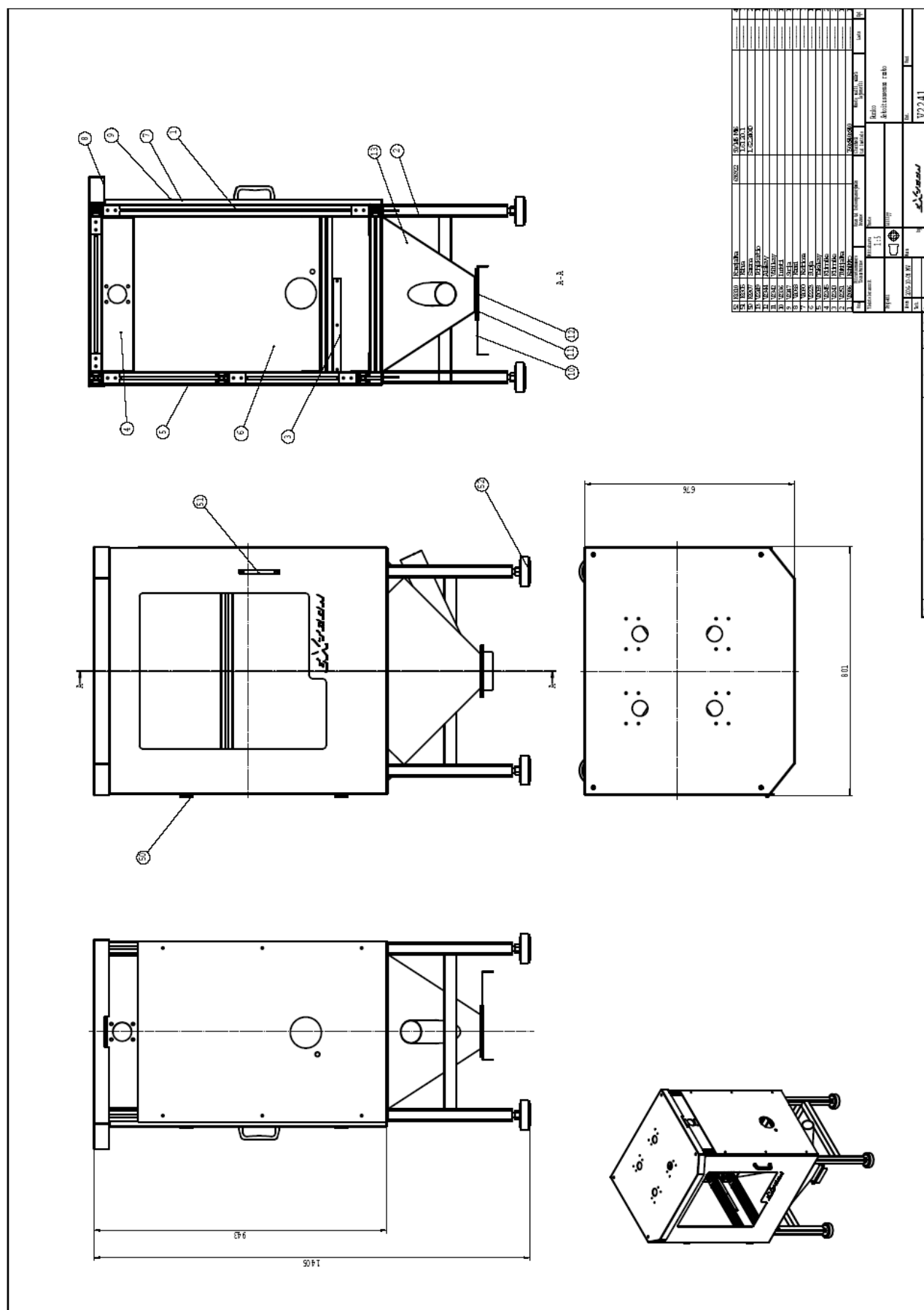
Mikko Vuorinen

## LIITE 1. Pääkokoonpano



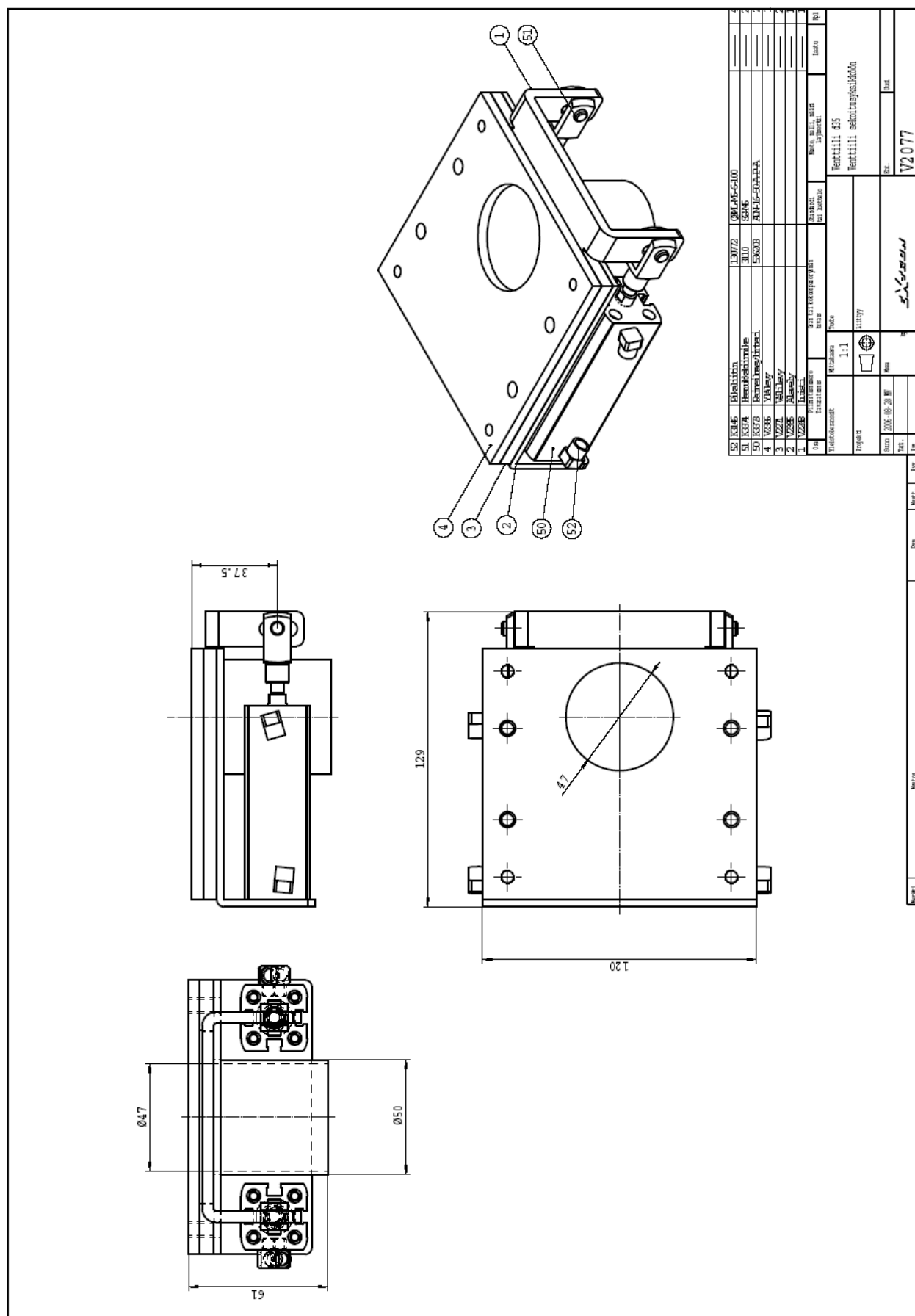
Mikko Vuorinen

## LIITE 2. Rungon kokoonpano



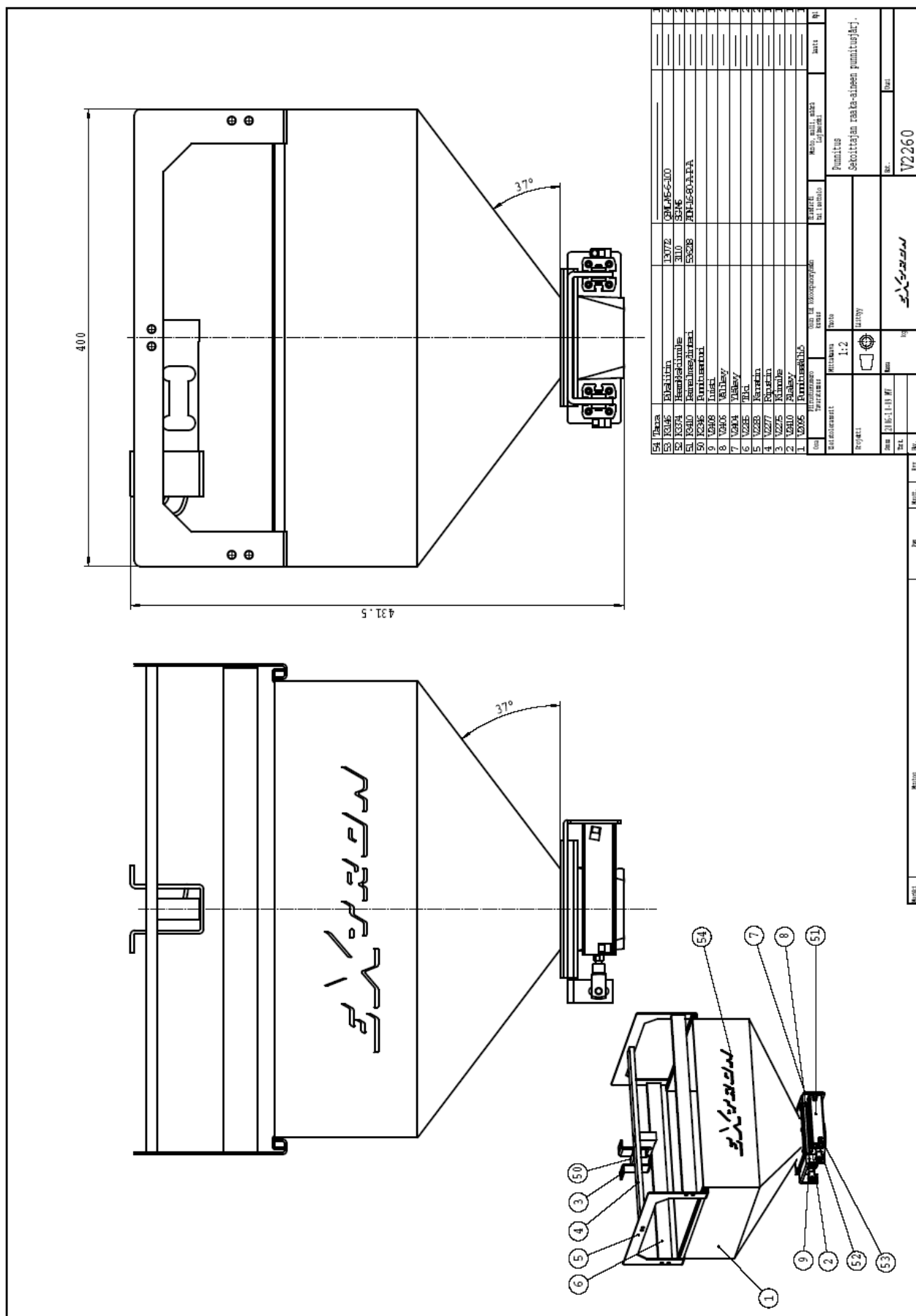
Mikko Vuorinen

### LIITE 3. Raaka-aineventtiilin kokoonpano



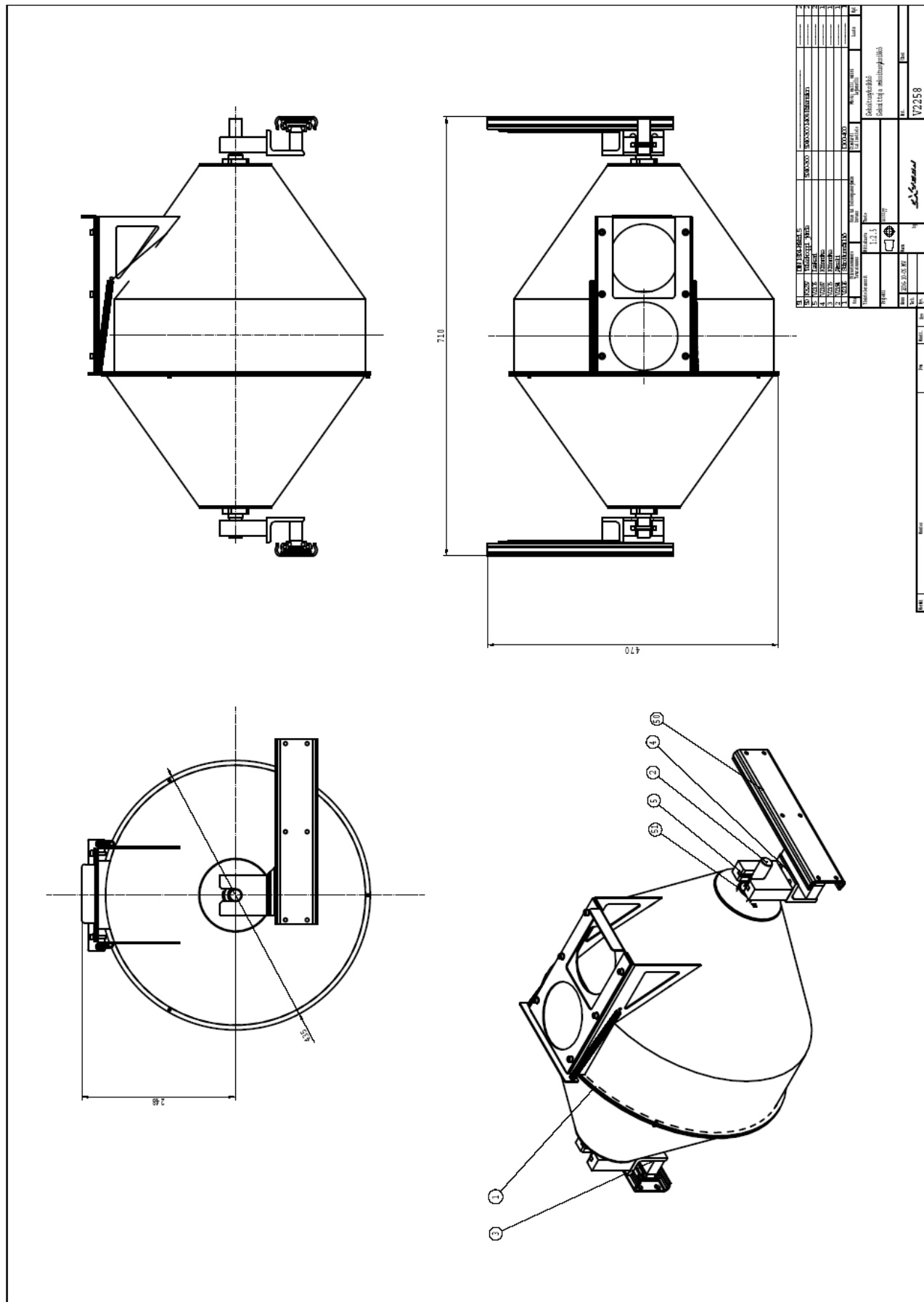
Mikko Vuorinen

## LIITE 4.Punnitusyksikön kokoonpano



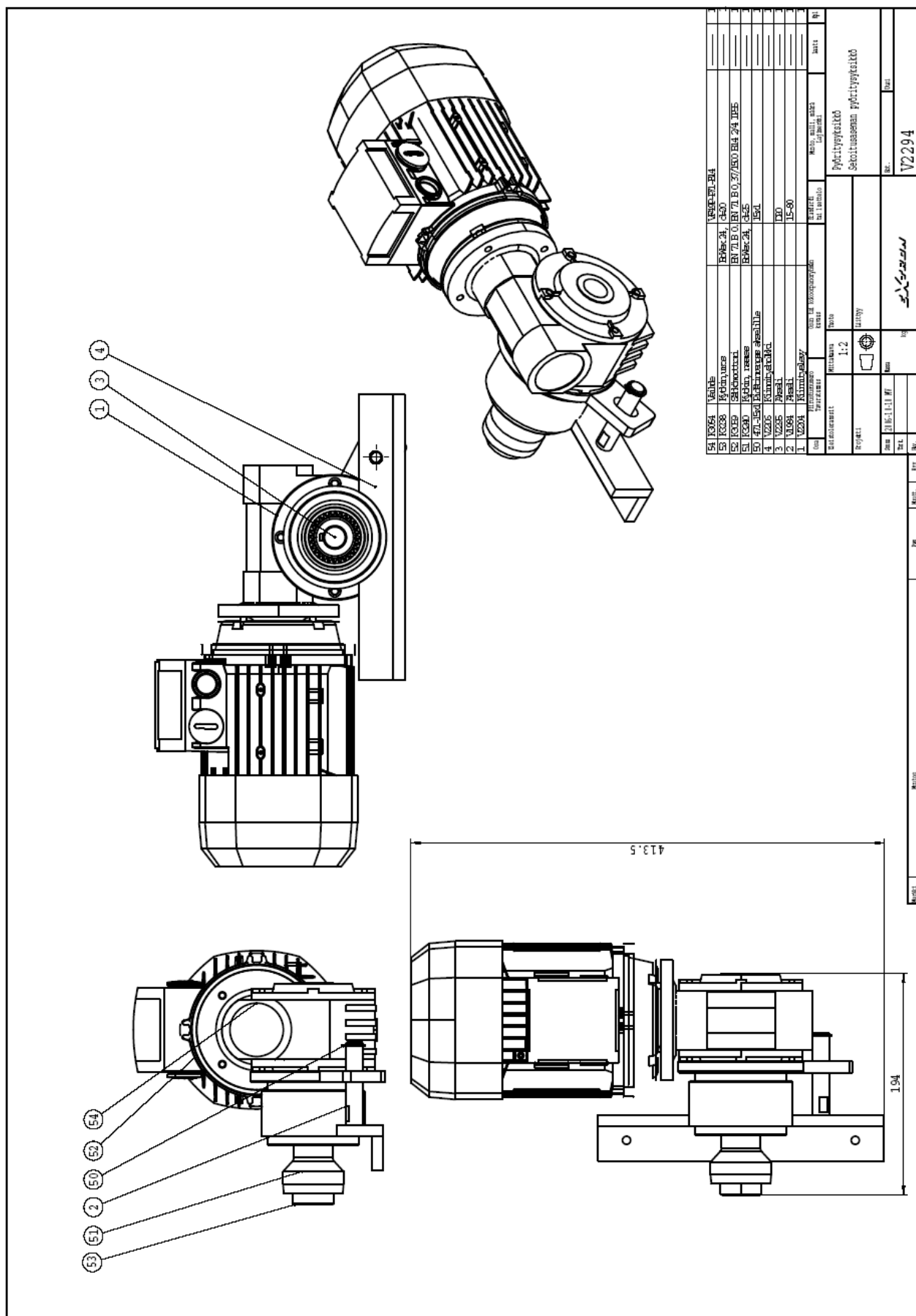
Mikko Vuorinen

## LIITE 5. Sekoitusyksikön kokoonpano



Mikko Vuorinen

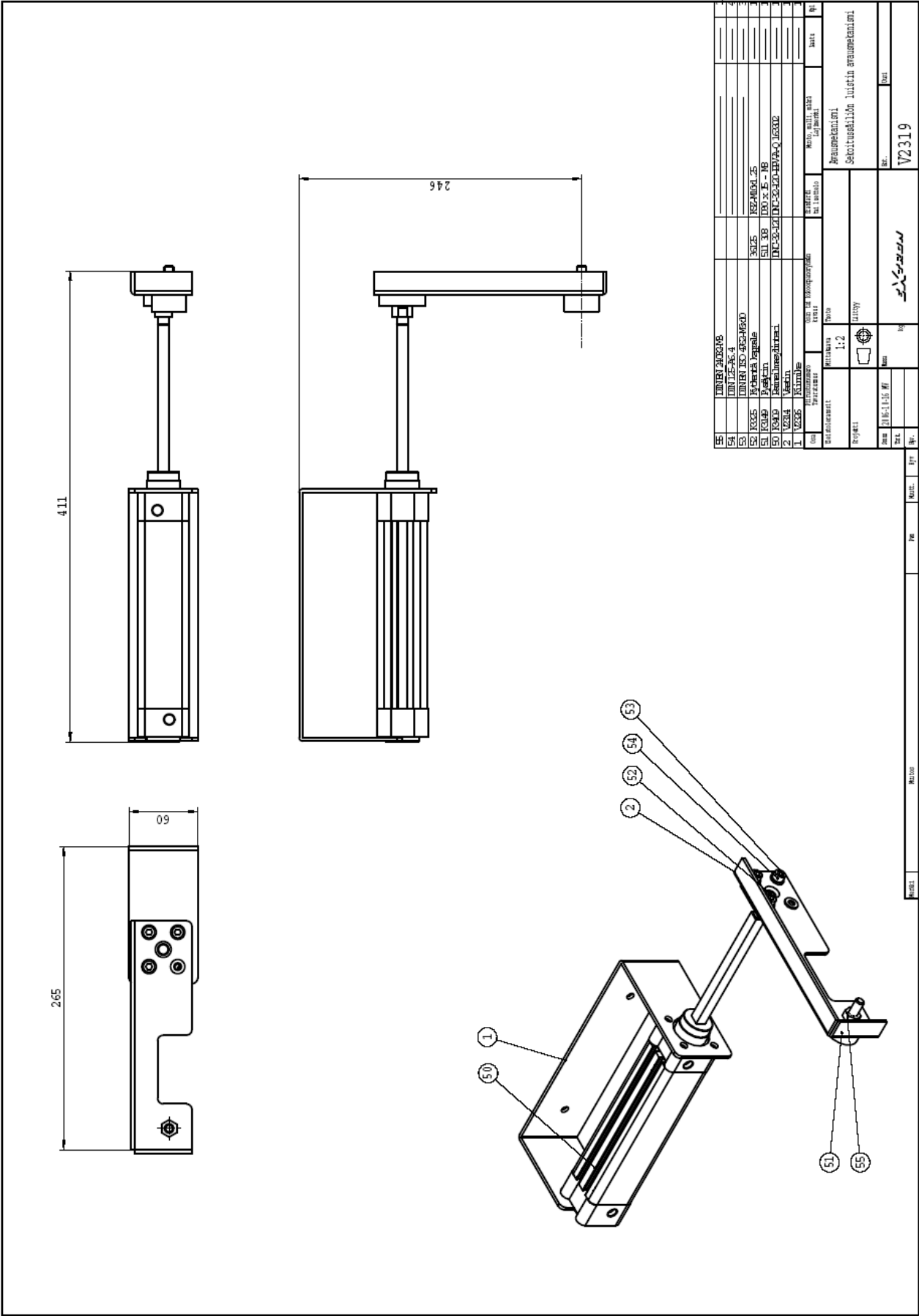
## LIITE 6. Pyöritysyksikön kokoonpano





Mikko Vuorinen

LIITE 7. Avausyksikön kokoonpano



Mikko Vuorinen